

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-323658

(43)Date of publication of application : 08.11.2002

(51)Int.Cl.

G02B 19/00
G03F 7/20
H01L 21/027

(21)Application number : 2002-039626

(71)Applicant : CARL ZEISS SEMICONDUCTOR
MANUFACTURING TECHNOLOGIES AG

(22)Date of filing : 18.02.2002

(72)Inventor : SCHULTZ JOERG
EPPLE ALEXANDER
SOHMER ALEXANDER
WANGLER JOHANNES
GRUNWALD JUERGEN

(30)Priority

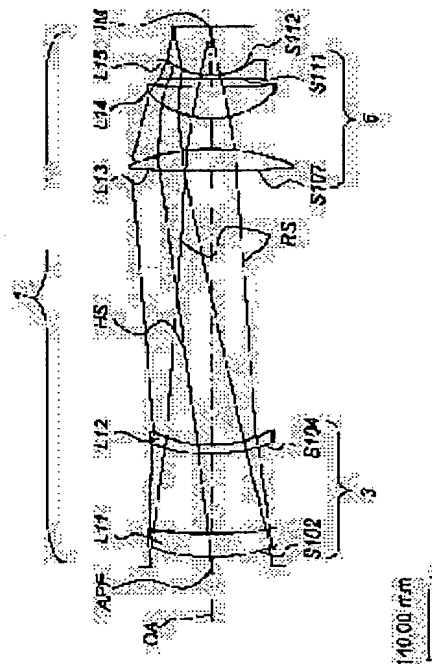
Priority number : 2001 10108677 Priority date : 23.02.2001 Priority country : DE

(54) SPLIT TYPE OBJECTIVE LENS FOR ILLUMINATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize the action of a main beam angle on the image plane of a split type objective lens over a wide area.

SOLUTION: This split type objective lens (1) having an optical axis(OA) for irradiating image field in the illuminator of a microlithographic projection exposure device is arranged between an aperture surface (APE) and the image plane (IM). The lens (1) includes a 1st lens group (3) and a lens (L15) having a 1st aspherical lens surface (S111). A 2nd lens group (5) is equipped with at least one 1st lens (L15) having negative refractive power and at least one 2nd lens (L14) having positive refractive power. The maximum field height Yimmax in the image field is at least 40 mm, while a numerical aperture on an image side is at least 0.15. A main beam has field height Yim and the main beam angle PF in the image field.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-323658

(P2002-323658A)

(43)公開日 平成14年11月8日(2002.11.8)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード(参考)
G 0 2 B 19/00		G 0 2 B 19/00	2 H 0 5 2
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願2002-39626(P2002-39626)

(22)出願日 平成14年2月18日(2002.2.18)

(31)優先権主張番号 1 0 1 0 8 6 7 7 . 6

(32)優先日 平成13年2月23日(2001.2.23)

(33)優先権主張国 ドイツ (DE)

(71)出願人 502057795

カール・ツァイス・セミコンダクタ・マニ
ュファクチュアリング・テクノロジーズ・
アーゲー

ドイツ連邦共和国・73447・オーベルコヒ
ェン・カール・ツァイス・シュトラッセ・
22

(72)発明者 イエルク・シュルツ

ドイツ連邦共和国・73430・アーレン・ポ
ールシュトラッセ・29

(74)代理人 100064621

弁理士 山川 政樹

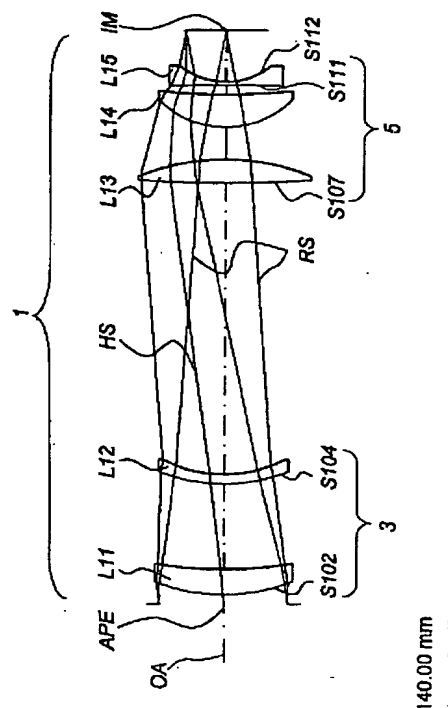
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 照明システムの分割形対物レンズ

(57)【要約】

【課題】 分割形対物レンズの像平面内の主ビーム角の作用を広い領域にわたって可能にすること。

【解決手段】 マイクロリソグラフィ投影露光装置の照射装置において像視野を照射するための光軸(OA)を有する分割形対物レンズ(1)が絞り面(APE)と像平面(IM)との間に配置される。分割形対物レンズ(1)は第1レンズ群(3)と、第1の非球面のレンズ面(S111)を有するレンズ(L15)とを含んでいる。第2レンズ群(5)は負の屈折力を有する少なくとも1個の第1レンズ(L15)と正の屈折力を有する少なくとも1個の第2レンズ(L14)とを備えている。像視野内の最大視野高さ Y_{im}^{max} は少なくとも40mmであり、一方、像側の開口数は少なくとも0.15である。主ビームは像視野内に視野高さ Y_{im} 、主ビーム角PFとを有している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マイクロリソグラフィ投影露光装置の照射装置において像視野を照射するための光軸（OA）を有する分割形対物レンズ（1、301、501）であって、

前記分割形対物レンズ（1、301、501）は絞り面（APE）と像平面（IM）との間に配置され、

前記絞り面（APE）からそれぞれ1つの主ビームを有する光束が放射され、前記主ビームと前記光軸（OA）との交点は前記絞り面（APE）の直径の最大10%の距離だけ離間しており、かつ、

前記分割形対物レンズ（1、301、501）は第1レンズ群（3、303、503）と第2レンズ群（5、305、505）とを含んでおり、

前記第1レンズ群（3、303、503）内では、前記光軸（OA）に対する最大角度をもって前記絞り面（APE）を透過する最外部の主ビーム（HS）のレンズ面での放射高さは数値的に、主ビームが前記光軸（OA）に沿って進む光束の境界をなす周辺光線（RS）よりも低く、

一方、前記第2レンズ群（5、305、505）内では、最外部の主ビーム（HS）のレンズ面での放射高さは数値的には、前記周辺光線（RS）よりも高く、かつ、

前記第2レンズ群（5、305、505）は、非球面の第1レンズ面（S111、S320、S523）を有するレンズ（L15、L39、L510）を備えていて、前記第2レンズ群（5、305、505）は、負の屈折力を有する少なくとも1個の第1レンズ（L15、L39、L511）と、正の屈折力を有する少なくとも1個の第2レンズ（L14、L38、L58）とを備え、前記像視野内の最大視野高さ Y_{im}^{max} は少なくとも40mmであり、かつ像側の開口数は少なくとも0.15であり、

前記像視野内の前記主ビームは視野高さ Y_{im} を有し、かつ前記像平面（IM）の面法線とそれぞれの主ビームとの間で主ビーム角PFをなし、主ビーム角PFの前記視野高さ Y_{im} にわたる分布は、直線部分と非直線部分からなるひとみ関数PF（ Y_{im} ）によって下記のように示され、

$$PF(Y_{im}) = c_1 \cdot Y_{im} + PF_{NL}(Y_{im})、$$

但し、 c_1 は視野高さ $Y_{im} = 0$ mmである場合のひとみ関数の勾配に相当し、正の最大視野高さ Y_{im}^{max} の場合の非直線部分 $PF_{NL}(Y_{im})$ は少なくとも+15mradであることを特徴とする分割形対物レンズ。

【請求項2】 前記第1レンズ（L15、L39、L511）は前記像平面（IM）に対して凹面であるレンズ面（S112、S321、S525）を備えることを特徴とする請求項1に記載の分割形対物レンズ。

【請求項3】 前記凹面であるレンズ面（S112、S

321、S525）の曲率半径とレンズ直径とを有し、そのレンズ直径に対する前記曲率半径の比率は1.0未満、好適には0.8未満である請求項2に記載の分割形対物レンズ。

【請求項4】 前記第1レンズ（L39、L511）はメニスカス・レンズであることを特徴とする請求項2ないし3のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項5】 前記第1レンズ（L15、L39、L511）への照射方向には光学的な屈折力を有するその他のレンズは配置されないことを特徴とする請求項2ないし4のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項6】 前記像平面（IM）から前記凹面のレンズ面（S112、S321、S525）の頂点までの距離と、前記凹面のレンズ面（S112、S321、S525）の曲率半径の数値とを有し、前記距離と前記数値との比率は0.7から1.3の間の値であることを特徴とする請求項5に記載の分割形対物レンズ。

【請求項7】 前記像平面（IM）から前記凹面のレンズ面（S112、S321、S525）の頂点までの第1の距離と、その凹面のレンズ面（S112、S321、S525）の曲率半径の半分で規定される第2の距離と、前記第1の距離と前記第2の距離との差とを有し、前記差と前記第2の距離との比率は0.3以上であることを特徴とする請求項5および6のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項8】 前記像平面（IM）と、前記第2レンズ群（5、305、505）のレンズ面とは入射ビームを部分反射し、かつ前記最外部の主ビーム（HS）は前記像平面（IM）での反射後、および前記第2レンズ群（5、305、505）のレンズ面での反射後に、前記像平面（IM）内に前記最大視野高さ Y_{im}^{max} の少なくとも30%である放射高さを有することを特徴とする請求項1ないし7のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項9】 前記非球面の第1レンズ面（S111、S320、S523）が、前記非球面のレンズ面（S111、S320、S523）の照射される領域の前記頂点、および前記周辺で前記非球面のレンズ面（S111、S320、S523）と交差するエンベロープ球面に対して垂直高さ偏差を有し、その垂直高さの最大偏差の数値は少なくとも0.2mm、好適には少なくとも0.4mmであることを特徴とする請求項1ないし8のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項10】 少なくとも30mm、好適には少なくとも40mmである像側の作動距離を有することを特徴とする請求項1ないし9のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項11】 正の最大視野高さ Y_{im}^{max} の非直線部分 $PF_{NL}(Y_{im})$ は少なくとも+25mradであることを特徴とする請求項1ないし10のいずれか一項に記

載の分割形対物レンズ。

【請求項12】 前記第2レンズ群(505)の少なくとも1個の別のレンズ(L58)は非球面の第2レンズ面(S518)を備えることを特徴とする請求項1ないし11のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項13】 前記非球面の第2レンズ面(S518)が、該非球面の第2レンズ面(S518)の照射される領域の前記頂点、および前記周辺で前記非球面の第2レンズ面(S518)と交差するエンベロープ球面に対して垂直高さ偏差を有し、該垂直高さの最大偏差の数値は少なくとも0.2mm、好適には少なくとも0.4mmであることを特徴とする請求項12に記載の分割形対物レンズ。

【請求項14】 最大視野高さ Y_{i0}^{max} に関して、前記直線部分 $c_1 \cdot Y_{i0}^{max}$ に対する前記非直線部分 $P F_{NL}(Y_{i0}^{max})$ の比率は-0.5から-2.0の範囲にあることを特徴とする請求項1ないし13のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項15】 前記像側の開口数を完全に満たす全ての光束は、前記像視野内の前記像平面(IM)に直径を有するそれぞれ1つのスポット画像を生成し、全てのスポット画像の最大直径は前記最大視野高さ Y_{i0}^{max} の2%であることを特徴とする請求項1ないし14のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項16】 正の屈折力を有する前記第2レンズ(L14、L38、L58)はメニスカス・レンズであることを特徴とする請求項1ないし15のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項17】 前記第2レンズ群(5、305、505)は最終的な焦点距離を有する3個ないし5個のレンズを備えることを特徴とする請求項1ないし16のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項18】 前記第2レンズ群(5、505)は両凸レンズ(L13、L510)を備えることを特徴とする請求項1ないし17のいずれか一項に記載の分割形対物レンズ。

【請求項19】 像視野に物体視野を結像するためのREMA-対物レンズ(309、509)であって、物体平面(OBJ)と絞り面(APE)との間に配置された第1分割形対物レンズ(311、511)と、前記絞り面(APE)と前記像平面(IM)との間に配置された、前記請求項の少なくとも1項に記載の第2分割形対物レンズ(301、501)とを含み、前記第1分割形対物レンズ(311、511)と、前記第2分割形対物レンズ(301、501)とは共通の光軸(OA)を有し、前記物体視野から発する主ビームが前記絞り面(APE)の領域で前記光軸(OA)と交差し、かつ、前記REMA-対物レンズ(309、509)は前記物体視野を3倍ないし8倍に拡大して前記像平面

(IM)内の前記像視野に結像することを特徴とするREMA-対物レンズ。

【請求項20】 前記物体視野の内側の点から発し、前記像平面(IM)内で像側の開口数を完全に満たす各々の光束は前記照射面内にスポット画像を生成し、かつそのスポット画像の最大直径は前記最大視野高さ Y_{i0}^{max} の2%であることを特徴とする請求項19に記載のREMA-対物レンズ。

【請求項21】 前記主ビームは前記物体平面(OBJ)からテレセントリックに放射することを特徴とする請求項19および20のいずれか一項に記載のREMA-対物レンズ。

【請求項22】 前記像平面(IM)内のそれぞれの視野高さ Y_{i0} ごとに、主ビームと高エネルギーの重ビームとが、高エネルギーの重ビームと前記主ビームとの間に角偏差を有して与えられ、かつ全ての視野高さの最大角偏差は2mrad未満、好適には1mrad未満であることを特徴とする請求項19ないし21のいずれか一項に記載のREMA-対物レンズ。

【請求項23】 マイクロリソグラフィ投影露光装置(715、915)であって、前記請求項の少なくとも一項に記載の分割形対物レンズ(701、901)を有する照射装置と、像平面内の像視野に物体平面内の物体視野を結像する投影対物レンズ(741、941)とを備え、該投影対物レンズ(741、941)はその物体視野内部の物体高さにわたる対物レンズ主ビーム角の分布として生ずる物体側の対物レンズひとみ関数を有しており、前記分割形対物レンズ(701、901)と前記投影対物レンズ(741、941)とは共通の光軸(OA)を有し、前記分割形対物レンズ(701、901)の前記像平面(IM)と前記投影対物レンズ(741、941)の前記物体視野とは共通の平面にあると共に、前記分割形対物レンズのひとみ関数と前記対物レンズ(701、901)の前記像視野内部の全ての視野高さの物体側対物レンズひとみ関数の偏差は2mrad未満、好適には1mrad未満であることを特徴とするマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照射装置の照射系内の分割形対物レンズ、このような対物レンズを備えたREMA対物レンズ、および、このような対物レンズを有するマイクロリソグラフィ投影露光装置の照射装置に関する。

【0002】

【従来の技術】分割形対物レンズは絞り面と像平面との間に配置された第1のレンズ群と第2のレンズ群とを含んでおり、前記像平面内には照射されるべき像視野があ

る。その際に、構成部品は光軸を中心に軸対称に配置される。絞り面を通過してそれぞれ1つの主ビームを有する光束は分割形対物レンズに入射し、主ビームは絞り面の領域で光軸と交差する。その際、主ビームと光軸との交点の軸方向距離は絞りの直径の最大10%である。交点の軸方向の分布は、分割形対物レンズの前に配置された光学系部品によって誘発されるひとみ結像の収差によって左右される。ここに、ひとみ結像とはひとみ面の間の結像のことである。光軸に対して最大の角度で絞り面を透過する最外部の主ビームは、像視野の周辺の像平面に入射する。主ビームが光軸に沿って進行する光束はその中心部に集まる。その際、第1レンズ群は、最外部の主ビームのレンズ面での放射高さが光束の中心の周囲ビームよりも低いレンズを含んでいる。第2レンズ群は、最外部の主ビームのレンズ面での放射高さが光束の中心の周囲ビームよりも高いレンズを含んでいる。その際、第2レンズ群のレンズは非球面のレンズ面を備えている。

【0003】DD292 727号から、照射装置内部のくし形コンデンサと、構造部を担持するマスクとの間に同類の分割形対物レンズを備えたマイクロソグラフィ投影露光装置が公知である。構造部を担持するマスクの後の光路内には投影対物レンズが配置され、そのレンズが、構造部を担持するマスクを限定された回折を伴って感光基板上に結像する。分割形対物レンズの第1レンズ群は東ドイツ特許明細書第292 727号のコリメータに相当し、第2レンズ群は1個のレンズからなる視野レンズに相当する。その際に、視野レンズは、分割形対物レンズの像平面内の主ビームの角分布に作用を及ぼして、投影対物レンズの像平面がほぼテレセントリックに照射されるようにするために非球面の補正面を備えている。非球面の補正面によって分割形対物レンズの絞り面と、投影対物レンズの絞り面との間のひとみ結像の収差が低減する。DD292 727号の構成の欠点は、視野レンズが正の屈折力を有する単一のレンズだけからなっているため、ひとみ結像を補正する可能性が限定されることにある。その上、この実施形態では像側の開口数は僅か0.04であり、最大視野高さは71.75mmである。

【0004】DE195 48 805 A1号(米国特許明細書第5,982,558号)およびDE196 53 983 A1号(米国特許出願第09/125 621号)から、本件出願人にとっていわゆるREMA-対物レンズが公知である。REMA-対物レンズはマイクロソグラフィ投影露光装置で構造部を担持するマスク、いわゆるレチクルの直前に取り付けられる。このレンズはレチクル上にマスクング装置、いわゆるREMA(レチクルマスクング)-ブレードを周辺部分も鮮鋭に結像する。REMA-ブレードは通常は調整可能な機械的エッジを備え、それによって後続のREMA-対物

レンズの物体視野の大きさを変更することができる。DE19548 805 A1号の実施形態は純球面レンズを有するREMA-対物レンズを記載している一方、DE196 53 983 A1号ではREMA-対物レンズ内部のレンズ数を縮減するために非球面レンズを使用することを提案している。この場合は、REMA-対物レンズの視野レンズ部は、前記REMA-対物レンズと投影対物レンズとの間で連続的なビーム進行が達成されるように、REMA-対物レンズの主ビームの角分布を後続の投影対物レンズの主ビームの角分布と適応させる。

【0005】EP0 811 865 A1号は、絞り面と像平面との間に配置された分割形対物レンズを開示している。この場合は、分割形対物レンズの像平面にはレチクルではなく、後続の対物レンズによってレチクルに結像されるマスクング装置が配置される。したがって、分割形対物レンズは照射装置と後続の投影対物レンズとの間の交点で主ビーム角の分布に直接的な作用を及ぼさない。

【0006】新型の投影対物レンズによって、構造部の大きさが0.2μm未満の超小型構造の部品を製造することができる。このように高度な分解能を達成するため、投影対物レンズは248nm、特に193nm、またはそれどころか157nmの波長で作動し、像側の開口数は0.65以上である。同時に、像視野の直径は部分的に20mm以上である。したがって、このような投影対物レンズの最適な設計に対する要求基準は相当なものである。感光性基板すなわち、いわゆるウェハ上にレチクルを視野結像することの他に、ひとみ結像をも補正する必要がある。そこで、物体平面と絞り面との間に配置された投影対物レンズの前部対物レンズは絞り面上での入射ひとみの結像に作用を及ぼし、一方、絞り面と像平面との間に配置された後部対物レンズは射出ひとみ上での絞り面の結像に作用を及ぼす。その際に、投影対物レンズのひとみ結像の収差は、投影対物レンズの物体平面内の主ビーム角の分布を示す。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、分割形対物レンズの像平面内の主ビーム角の作用を広い領域にわたって可能にする冒頭に述べた種類の分割形対物レンズを提供することにある。特に、後続の投影対物レンズの前部対物レンズによって実施可能なひとみ結像の収差を補正する必要がある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の課題は特許請求の範囲第1項に記載の分割形対物レンズによって達成される。本発明の特別の実施態様は従属クレーム第2項から23項に記載されている。特許請求の範囲第1項から18項は本発明による分割形対物レンズに関し、特許請求の範囲第19項から22項は前記分割形対物レンズを取

り付けたREMA-対物レンズに関する。本発明による分割形対物レンズをマイクロソグラフィ投影露光装置で使用する実施態様は、特許請求の範囲第23項に記載されている。

【0009】本発明による分割形対物レンズの像平面内

$$PF(Y_{im}) = \sum_n c_n \cdot Y_{im}^n (n=1,3,5,7,9\dots)$$

【0010】像平面の面法線とそれぞれの主ビームとがなす角度である主ビーム角PFは時計回り方向で負であると定義される。対称形であるので、光軸を中心に軸対称の光学系のひとみ関数は偶数べきを伴う部分を有していない。本発明による分割形対物レンズの像平面内の照射系にひとみ結像の収差がない場合は、それぞれの視野高さ Y_{im} ごとに同一の射出ひとみの軸方向位置、すなわち共心射出ひとみが生じるであろう。共心射出ひとみの場合は全ての主ビームが光軸上の一点で交差するので、視野高さ Y_{im} と、各々の主ビームごとの角度の正接との

$$PF_{NL}(Y_{im}) = \sum_n c_n \cdot Y_{im}^n (n=3,5,7,9\dots)$$

【0011】その際により高次の部分はひとみ結像の球面角収差に対応し、したがって球面収差は角収差として表わされる。正の屈折力を有する光学系は通常は特別の補正手段なく球面で不足補正されるので、視野高さが正である場合のひとみ関数の非直線部分 PF_{NL} は負である。それとは対照的に、本発明の分割形対物レンズのひとみ関数は視野高さが正である場合に明確に正である非直線部分 PF_{NL} を有する。視野高さが最高である場合の主ビーム角に対する非直線部分 $PF_{NL}(Y_{im}^{max})$ は少なくとも+15mradである。したがって分割形対物レンズはひとみ結像の球面収差の強い過補正をもたらす。したがってこのことは、それによって後続の分割形対物レンズがひとみ結像に関して球面で不足補正されることができ、ひいては投影対物レンズ内の補正手段を省くことができるので、有利である。この補正手段を照射系内に格納すると更に好適であるが、その理由は投影対物レンズ内の光学素子に要求される品質基準は明らかに照射系内の光軸素子の基準よりも高いからである。本発明の分割形対物レンズは、直径が少なくとも80mmであり、像側の開口数が少なくとも0.15である像視野において上記の過補正を達成する。ここで像側の開口数とは、分割形対物レンズの最大絞り直径により可能な像平面内の開口数のことである。像視野の直径と像側の開口数との積によって定義される光伝導値は少なくとも12mmである。本発明の分割形対物レンズの第2レンズ群が少なくとも2個のレンズからなっている場合にひとみ結像の球面収差の過補正を達成でき、その際、第1レンズは負の屈折力を有し、第2レンズは正の屈折力を有している。

【0012】負の屈折力を有する第1レンズが像平面に

の視野高さ Y_{im} にわたる主ビーム角PFの分布すなわち、いわゆるひとみ関数は奇数のべきを有する級数展開式として表すことができる。この多項式は以下のとおりである。

【数1】

(1)

間には直線的な関係しか存在しない。以下の場合のように、主ビーム角が小さいと、主ビーム角の正接は角度によって直接近似計算できる。ひとみ関数は共心ひとみの場合、直線部分 $c_1 \cdot Y_{im}$ だけを有し、ここに係数 c_1 は $Y_{im}=0$ mmの場合の勾配に相当する。しかし、それぞれの視野高さで、ひとみ結像の収差によって、射出ひとみの軸方向位置は異なってくる。視野に左右される射出ひとみの位置はひとみ関数の以下のような非直線部分によって表される。

【数2】

(2)

対して凹であるレンズ面を備えており、ひいてはこの平面の曲率半径が正であると、ひとみ結像の球面収差の補正には特に有利である。

【0013】凹面のレンズ面の曲率半径とレンズ直径との比率が1.0未満、好適には0.8未満であることが好適である。この比率の下限は半球を生ずる0.5の値である。強く湾曲した凹面のレンズ面によって、軸から遠く離間した画素の主ビームの前記レンズ面への入射角が大きくなり、ひいてはひとみ結像の球面収差の過補正により大きく貢献する。

【0014】負の屈折力を有する第1レンズは好適にはメニスカスとして構成される。メニスカス・レンズの場合、前面と裏面の頂点半径の符号は正である。

【0015】その際に負の屈折力を有する第1レンズはできるだけ像平面の近傍に配置する必要がある。自由形状の修正面を備えることができる、例えばフィルタまたは投影板のような平行平板まで、第1レンズと像平面との間の光路内にその他の光学素子が配置されないことが有利である。

【0016】視野結像、すなわち像平面内の光束の結像を補正するためには、第1レンズの凹面のレンズ面が像平面に対してほぼ同心の平面であることが有利である。この場合は、入射角が小さい中心光束は凹面のレンズ面に入射する。これは、凹面のレンズ面の曲率半径の数値に対する凹面のレンズ面の頂点からの像平面の間隔の比率が0.7から1.3の間である場合に達成される。中心光束のビームが像平面に対してほぼ同心のレンズ面によってほぼ屈折しないで入射している間、軸から遠く離れた画素の光束の入射角は大きくなる。したがって前記平面は視野によって左右される像の歪みを修正するのに

理想的に利用でき、一方、中心光束はほぼ影響を受けないで済む。

【0017】像平面に対して凹面のレンズ平面を有する第1レンズと、像平面との間に光学的な屈折力を有するその他のレンズが存在しない場合は、凹面のレンズ面の曲率半径の半分の値が、凹面のレンズ面の頂点の像平面からの距離よりも明確に大きい小さいことが有利である。通常は入射した光束がそこで分割形対物レンズ内に再び反射するレチクルが像平面内にあれば、凹面のレンズ面の曲率半径に対する上記の要求基準は満たされる。それぞれの光学系の平面自体が反射防止層で在留反射するので、マスクから反射する光線は像平面に対して凹面のレンズ面でマスクの方向に再反射する。マスクの照射がほぼテレセントリックである場合は、像平面がミラーとして作用する凹面のレンズ面の焦点距離と離間していれば妨害反射が生ずるであろう。凹面鏡の焦点距離は曲率半径の半分の値で規定される。像平面からの凹面のレンズ面の間隔と焦点距離との差が、焦点距離と係数0.3を乗算した数値よりも大きい場合は、妨害反射は無視できる。

【0018】妨害反射の最小化は、第2レンズ群の別の平面の場合も考慮される。レチクルと第2レンズ群のレンズ面との間に妨害反射が生じないようにするため、第2レンズ群は、光軸に対する最大の角度で絞り面を透過する最外部の主ビームが絞り面での反射、および第2レンズ群のレンズ面での反射の後に像平面内で最大視野高さ Y_{im}^{max} の少なくとも30%の放射高さを有するように構成される。このことは、分割形対物レンズの屈折力が一定であれば、レンズ面の湾曲度の変化によって達成可能である。したがって、最外部の主ビームと像平面との交点が妨害反射の50%をマークするので、前記最外部の主ビームは妨害反射の評価に関連する。しかし、最外部の主ビームが光軸の領域の像平面と交差する場合は、主ビームのその他の全ての部分もこの領域で像平面と交差し、2回反射した光束が光軸を中心として狭い領域に入射するので、明確な妨害反射が発生するであろう。

【0019】第1の非球面のレンズ面の特徴は、エンベロープ球面に対して少なくとも0.2mm、好適には0.4mmである大きい垂直高偏差にある。このように非球面性が高いことは、ひとみ結像の球面収差の過修正を行うためのもう一つの補正手段である。垂直高の定義は、非球面のレンズ面と光軸の方向でのエンベロープ球面との距離である。エンベロープ球面の定義は、非球面と同じ頂点を有し、かつ非球面のレンズ面とその照射領域の周辺で交差する球面である。照射領域は最外部の主ビームの光束の周辺ビームによって限定される。

【0020】更に、分割形対物レンズの設計には、分割形対物レンズの像側の作動距離が少なくとも30mm、好適には少なくとも40mmでなければならないという

困難が伴う。その際に、自由作動距離とは像平面と、分割形対物レンズの最後の光学平面の頂点との距離のことであり、最後の光学平面が凹面である場合は、前記距離は最後の光学平面の最高の垂直高だけ縮小される。自由作動距離によって、通常はレチクルが存在する像平面への自由なアクセスが可能になる。レチクルを位置決めし、これを交換するための装置はこのスペース内に作用することができなければならない。

【0021】本発明に基づく分割形対物レンズによって、正の最高視野高さ Y_{im}^{max} のための主ビーム角に対する非直線部分 $PF_{NL}(Y_{im}^{max})$ が少なくとも+25mradであるようにひとみ結像の球面収差を過補正することが可能になる。

【0022】このことは特に、第2レンズ群が第2の非球面のレンズ面を備えることによって達成される。

【0023】エンベロープ球面からの第2の非球面のレンズ面の最大の垂直高偏差は0.2mmよりもできるだけ大きくなければならない、好適には0.4mm以上である。

【0024】最大視野高さ Y_{im}^{max} に関して、前記直線部分 $c_1 \cdot Y_{im}^{max}$ に対する前記非直線部分 $PF_{NL}(Y_{im}^{max})$ の比率は-0.5から-2.0の範囲にあることが好適である。その場合にはひとみ関数の直線部分により、最高の視野高さの非直線部分の部分的な補償が可能になるので、視野高さが正である場合はほぼ同じ大きさの最大と最小の主ビーム角が生じ、この視野高さにおける主ビームは平均すると光軸に対して平行に進行する。ひとみ関数の直線部分は射出ひとみの近軸位置を介して調整される。

【0025】ひとみ結像の球面収差の影響の他に、分割形対物レンズは像平面内の最小の直径を有するスポット像上に入射する光束を集束する。そのためには視野結像を補正することが必要である。全てのスポット像の最大スポット直径は有利には最高視野高さ Y_{im}^{max} の2%である。スポット像およびスポット直径を測定するには絞りを完全に開いた場合の光束が吟味されるので、光束は像側の最大開口数を照射する。その場合、スポット層は光束のビームと像平面との交点によって得られる。補正手段としては主として、好適には正の屈折力を有するメニスカスと、負の屈折力を有するメニスカスとからなる第1レンズ群が利用される。補足的に、第1レンズ群が非球面のレンズ面を備えていることが好適である。

【0026】正の屈折力を有する第2レンズがメニスカスであると、ひとみ結像と視野結像とを同時に補正する上で好適である。

【0027】有利には第2レンズ群は、視野結像を補正し、ひとみ結像の球面収差を過補正し、かつ像視野の均一な照射を保証するために3個から5個のレンズから構成される。

【0028】このことは特に、第2レンズ群内に補助的

に両凹レンズを配置することによって可能である。

【0029】本発明の分割形対物レンズは有利にはREMA-対物レンズ内に取り付けられ、このREMA-対物レンズは3倍から8倍に拡大された物体視野を像視野内に結像する。その場合、REMA-対物レンズは物体平面および絞り面との間の第1の分割形対物レンズと、本発明の分割形対物レンズとからなっている。双方の分割形対物レンズは共通の光軸を有している。REMA-対物レンズの倍率は第1の分割形対物レンズと第2の分割形対物レンズとの焦点距離の比率を介して調整することができる。第1分割形対物レンズのひとみ結像、またはREMA-対物レンズの前に配置された光学部品の一とみ結像に歪みがある場合は、物体平面から射出される主ビームは必ずしも絞り面に一点で交差する必要はない。

【0030】REMA-対物レンズはその物体平面内に配置されたマスキング装置を、レチクル内に配置された像平面上にできるだけ鮮鋭に結像する必要があるため、像平面内の物点のスポット像は最小の直径を有している。スポット像の最大直径は最高の視野高さ Y_{i0}^{max} の2%である。最大のスポット直径を測定するためには、像側の最大開口数に対応する最大の絞り開口での光束が使用される。

【0031】有利にはREMA-対物レンズの入射ひとみは無窮距離内に存在するので、光束の主ビームは物体平面の後には光軸に対して平行に、ひいてはテレセントリックに進行する。このような手段によって、REMA-対物レンズの結像縮尺は、この場合はマスキング装置である物体の集束ずれには左右されない。

【0032】ひとみ結像を介して形成される主ビームの他に、REMA-対物レンズの像平面内では高エネルギーの重ビームも重要である。光束の高エネルギーの重ビームは、吟味される光束の全てのビームにわたる平均化から生ずるビームを表し、その場合、入射ひとみの照射に基づく各ビームは高エネルギーの重みを有している。視野高さ Y_{i0} については、高エネルギーの対応する重ビームの方向はREMA-対物レンズの入射ひとみの照射に関連するREMA-対物レンズの収差によって左右される。高エネルギーの重ビームは例えば入射ひとみの完全な照射、または入射ひとみの部分的な照明として定義することができ、その際に照明は光軸に対してほぼ点対称である。そこでREMA-対物レンズは、全ての視野高さでの高エネルギーの重ビームと主ビームとの最大角偏差が2mrad未満、好適には1mrad未満であるように構成される。この要求基準は、視野結像およびひとみ結像への要求基準と共に、最終的な焦点距離を有する8個から12個のレンズを含むREMA-対物レンズによって達成され、その際、第1の分割形対物レンズは3個から5個のレンズを備え、第2の分割形対物レンズは5個から7個のレンズを備えている。補足的に3個から5個の非球

面を使用することが有利である。

【0033】本発明による分割形対物レンズは有利にはマイクロソグラフィ投影露光装置に使用され、分割形対物レンズの直後に投影対物レンズが続く。それによって照明系と投影対物レンズとの間の交点は、分割形対物レンズの像平面、あるいは投影対物レンズの物体平面を表す。その際、分割形対物レンズと投影対物レンズは共通の光軸を中心に軸対称に配置される。照明系と投影対物レンズからの光束の継続的な進行を確実にするために、分割形対物レンズの主ビーム角の分布を交点での投影対物レンズの主ビーム角の分布に適合させなければならない。その場合、分割形対物レンズのひとみ関数と、物体側の対物レンズ-ひとみ関数との偏差は有利には、分割形対物レンズの像視野内の全ての視野高さにおいて2mrad未満、好適には1mrad未満である。この条件が満たされると、分割形対物レンズと投影対物レンズとはひとみ結像に関して機能ユニットを形成する。分割形対物レンズによって投影対物レンズの収差を補償することができるので、本発明による分割形対物レンズが適用された投影対物レンズは、ひとみ結像の球面収差の明確な不足補正を正すことができる。それによって投影対物レンズの光学的な補正が大幅に緩和される。

【0034】それに対応して、REMA-対物レンズをマイクロソグラフィ投影露光装置に使用することが有利であり、その際、REMA-対物レンズは本発明による分割形対物レンズを含んでいる。

【0035】次に図面を参照して本発明を詳細に説明する。

【0036】

【発明の実施の形態】図1には本発明による分割形対物レンズ1のレンズ部を示す。レンズの他に中心光束の周辺ビームRSと、最外部の主ビームHS、および最外部の主ビームの光束の境界を形成するビームが示されている。ここでは分割形対物レンズ1は光軸を中心に回転対称に構成されている。システム・データは表1に記載されている。この実施形態ではレンズ材料として、作動波長 $\lambda = 193.3 \text{ nm}$ の場合の屈折率が1.5603である水晶(SiO_2)が使用される。透過率を高める必要があり、または波長が157nm、または126nmの場合に分割形対物レンズを使用する必要がある場合は、レンズ材料としてフッ化水晶を使用することもできる。分割形対物レンズ1によって像平面IM内で直径が116.0mmである像視野が照射される。像側の開口数は0.18である。そこで分割形対物レンズの光導電性は20.7mmである。

【0037】直径が187.9mmの絞り面APEによって、平行な光束が分割形対物レンズに入射し、像平面IMはそれぞれのスポットに集束される。像平面内では全ての画素の最大スポット直径は160 μm である。スポット直径の大きさは視野結像の補正によって、また特

に像シェルおよび開口収差の補正によって規定される。

【0038】光束の主ビームは図1の分割形対物レンズ1に入射する際に絞り面APEの中心の光軸OAと交差する。絞り面APE内の主ビームの光軸に対する角度は、像平面IM内の主ビームの視野高さ Y_{im} に対応する。絞り面APE内の主ビームの最大角は 6.3° であり、像平面IMでは 58.0mm である視野高さ Y_{im}^{max} に対応する。分割形対物レンズ1の焦点距離は 487.7mm である。像平面内の主ビームの角分布を示す分割形対物レンズ1のひとみ関数PF(Y_{im})は図2に実線27として示されている。視野高さが正である場合の主ビーム角の値は -5.3mrad ないし $+7.9\text{mrad}$

rad であるので、視野高さが正である場合の主ビームは平均して光軸とほぼ平行に進行する。ひとみ関数は方程式(1)に記載の多項式として展開することができ、その係数は表2に記載されている。その場合、第1次係数 c_1 は $Y_{im}=0$ である場合のひとみ関数の勾配に対応し、射出ひとみの近軸位置、あるいは収差がないひとみ結像の場合の射出ひとみの位置を示す。第3次またはそれ以上の係数はひとみ結像の球面収差を示す。図2には、ひとみ関数への直線部分が正方形のマークを伴う破線28として記載され、非直線部分が三角形のマークを伴う破線29として記載されている。

【表1】

	係数	$Y_{im}^{max} = 58.0\text{mm}$ の場合の多項式部分
c_1	$-2.8566\text{E-}01\text{mrad/mm}$	-16.60mrad
c_3	$1.2526\text{E-}04\text{mrad/mm}^3$	24.57mrad
c_5	$-3.9215\text{E-}09\text{mrad/mm}^5$	-2.60mrad
c_7	$6.4435\text{E-}13\text{mrad/mm}^7$	1.44mrad
c_9	$1.5273\text{E-}16\text{mrad/mm}^9$	1.15mrad

表2：多項式の係数

【0039】表2の第3列にはそれぞれの次数 n における正の最大視野高さ $Y_{im}^{max}=+58.0\text{mm}$ の場合に生ずる多項式部分 $c_n \cdot Y_{im}^{max}$ が記載されている。正の最大視野高さ Y_{im}^{max} の場合のひとみ結像の球面収差の最大部分は、 $+24.6\text{mrad}$ の第3次部分である。非直線部分の全体は $+24.6\text{mrad}$ である。正の視野高さでの非直線部分は正符号を有しているので、球面収差は明らかに過補正される。直線部分に対する非直線部分の比率は、最大視野高さ Y_{im}^{max} の場合は -1.48 である。

【0040】分割形対物レンズ1は第1レンズ群3と、第2レンズ群5とからなっている。第1レンズ群3は正の屈折力を有するレンズL11と、負の屈折力を有するレンズL12とからなっている。レンズ群3内で最外部の主ビームHSは光軸OAと中心光束の周辺ビームRSとの間を進行する。レンズL11およびL12は非球面のレンズ面S102とS104とを備えている。レンズL11もレンズL12もその凸面のレンズ面が絞り面APEの方向を向いたメニスカスである。第1レンズ群3は主として、視野結像を補正し、ひいては画素のスポット直径を最小にするために貢献する。

【0041】第2レンズ群5のレンズの場合、中心光束の周辺ビームRSは光軸OAと最外部の主ビームHSとの間を進行する。第1レンズ群3と第2レンズ群5との間には、偏光ミラーを取り付けるための十分な取り付けスペースがある。偏光ミラーによって例えば照射光路を 90° 偏向することができる。あるいは、測定目的のた

めに照射光線の一部を切り離すための分光器を取り付けることもできる。偏光用の立方体分光器を使用すると、2つの光チャネルからの光線をほぼ損失なく重ねることができる。そのために立方体分光器が 45° 偏向した場合の分光器層は、入射面に対して垂直に偏光される光線はほぼ完全に反射し、一方、入射面に対して平行な光線はほぼ完全に透過されるように設計されている。このような構成は図7の実施例でより詳細に説明する。

【0042】図1の第2レンズ群5は、主としてひとみ結像に影響を及ぼす視野レンズとして機能する。その上、視野結像における歪みを補正することができるので、像平面IM内の輝度分布を補正し、適応化させることができる。このような要求基準を満たすために、第2レンズ群5は正の屈折力を有する両凸レンズL13と、正の屈折力を有するメニスカスL14と、負の屈折力を有するレンズL15とから構成されている。レンズ面S111は非球面のレンズ面であり、その表面の説明は表1に記載されている。照射される領域の頂点と周辺の 80.4mm で非球面のレンズ面L111と交差するエンベロープ球面の半径は -2218.4mm であるので、非球面のレンズ面S11とエンベロープ球面との空いたの垂直高の偏差は 0.28mm である。

【0043】負の屈折力を有するレンズL15は像平面に対して凹のレンズ面S112を有しており、曲率半径とレンズ直径との比率は 0.75 である。レンズL15は光線の方から見て像平面IMの前の屈折力を有する最後のレンズであるので、凹面のレンズ面S112は像

平面IMの直前に配置される。最後のレンズL15とは像平面IMとの間の自由作動距離は50.0mmである。

【0044】自由作動距離とは、分割形対物レンズの光学素子がない、光軸OAに沿った領域のことである。しかし、レンズL15の後に平面平行の投影板または輝度フィルタを取り付けることも可能であるが、それには分割形対物レンズ1の像平面IMをずらすだけでよい。

【0045】分割形対物レンズ1は通常はマイクロリソグラフィ投影露光装置の照射装置内に、レチクルの直前に設置される。レチクルは分割形対物レンズ1内への入射光線の一部を再反射するので、第2レンズ群5のレンズは好適には、妨害反射が最小限になるように設計される。それによって、レチクルで反射する光線がレンズ面で2回反射し、再びレチクルに到達することが達成される。妨害反射を最小限にすることは、最外部の主ビームHSがレチクルとレンズ面で2回反射した後、像平面IMと光軸OAの遠い外側で交差するように分割形対物レンズ1を設計することによって達成される。レンズ面S107およびS112では2回反射した主ビームHSは再び像平面IMに到達し、一方、像平面とレンズ面S108、S109、S110、およびS111との間に妨害反射が生じた場合は、最外部の主ビームは像平面にはもはや到達せず、分割形対物レンズ1のフレームに当たる。像平面とレンズ面S107との間に妨害反射がある場合は、最外部の主ビームは高さ37.3mmで像画面と交差する。これは最大視野高さ $Y_{i, \max}$ に対する64.3%の高さ比に対応する。像平面とレンズ面S112との間に妨害反射がある場合は、最外部の主ビームは高さ107.7mmで像画面と交差する。これは最大視野高さ $Y_{i, \max}$ に対する185.7%の高さ比に対応するので、像視野の外側で2回反射する主ビームは像平面IMに当たる。

【0046】レンズL15の後に屈折力を有するその他のレンズが続いていない場合は、像平面IMに対して凹面のレンズ面S112は妨害反射にとって極めて重要である。レンズ面S112から像平面IMまでの距離がレンズ面S112の曲率半径の半分に等しい場合は、像平面IMが本実施形態の場合と同様にほぼテレセントリックに照射されると、照射される物体から像平面IMに再反射される光線は像平面IM内で集束されよう。これに対して、凹面のレンズ面S112の曲率半径は100.7mmであり、像平面IMからの距離は79.7mmであるので、妨害反射を算定するためにミラーとして機能する凹面のレンズ面S112の絞り面と像平面IMとの距離は29.4mmである。曲率半径の半分に對するこの距離の比率は0.6であるので、場合によって発生する妨害反射の影響はさしたるものではない。

【0047】入射角が小さい中心光束を凹面のレンズ面S112に入射させるようにし、視野結像の収差を少なくするために、凹面のレンズ面S112を像平面IMに対してできるだけ同心に配置する。凹面のレンズ面S112の頂点から像平面IMまでの距離と、凹面のレンズ面S112の曲率半径の数値との比率は0.79である。

【0048】図3にはREMA-対物レンズ309の第1実施形態のレンズ分割形対物レンズ部を示す。レンズの他に、中心光束の周辺ビームRS、並びに最外部の主ビームHS、および最外部の主ビームHSの光束を形成するビームが示されている。REMA-対物レンズ309は光軸OAを中心に回転対称に構成されている。システムデータは表3に記載されている。この実施形態ではレンズ材料としてフッ化カルシウム水晶 CaF_2 および水晶(SiO_2)が使用され、その屈折率は作動波長 $\lambda = 193.3\text{nm}$ の場合は1.5014、好適には1.5603である。図1の素子に対応する図3の素子は図1の参照番号に300を付した番号で示す。この素子の説明については図1の説明を参照されたい。

【0049】図3のREMA-対物レンズ309は像平面に倍率 $\beta = -3.74$ で物体視野を結像する。これは第1分割形対物レンズ311と第3分割形対物レンズ301とから形成され、その構成は図1の分割形対物レンズの構成と同類である。REMA-対物レンズ309によって、直径が116.2mmの像視野が照射される。像側の開口数は0.18である。そこでREMA-対物レンズ309の光伝導性は20.9mmになる。REMA-対物レンズ309の入射ひとみは無縁距離内にあるので、物体平面OBJ内の主ビームは光軸OAに対して平行に進む。第1分割形対物レンズ311のひとみ結像はできるだけ良好に補正される。それにも関わらず、第1分割形対物レンズ311による球面収差およびひとみ結像の像視野湾曲によって、主ビームは光軸OAと絞り面APE内で直接交差するのではなく、絞り面に対する軸方向位置に左右されて光軸と交差する。図3のREMA-対物レンズ309の場合は、主ビームと光軸OAとの交差点は5.4mmの軸方向領域内にある。これは188mmである絞り直径の2.9%に相当する。

【0050】物体平面OBJから射出する光束は像平面IM内でそれぞれ1つのスポット上で集束される。像視野内では全ての画素についてスポット像の最大直径は240 μm である。

【0051】REMA-対物レンズ309のひとみ関数は方程式(1)に基づく多項式として展開することができ、その係数は表4に記載されている。

【表2】

	係数	$Y_{im}^{max} = 58.1\text{mm}$ の場合の多項式部分
c_1	-2.8278E-01mrad/mm	-16.43mrad
c_3	1.0607E-04mrad/mm ³	20.08mrad
c_5	6.5595E-09mrad/mm ⁵	4.34mrad
c_7	-7.5251E-13mrad/mm ⁷	-1.68mrad
c_9	7.9719E-17mrad/mm ⁹	0.60mrad

表4：多項式の係数

【0052】表4から、正の最大視野高さ Y_{im}^{max} の場合のひとみ結像の球面収差に対する最大部分は、+20.1mradである3次の部分であることが分かる。非直線部分全体は+24.1mradであるので、球面収差は明らかに過補正される。非直線部分の直線部分に対する比率は最大視野高さ Y_{im}^{max} の場合、-1.46である。

【0053】第2の分割形対物レンズ301は第1レンズ群303と、第2レンズ群305とからなっている。第1レンズ群303にはレンズL35とL36が含まれ、レンズL35は正の屈折力を有するメニスカスであり、レンズL36は負の屈折力を有するメニスカスである。メニスカスの凹面はそれぞれ絞り面APEの方向を向いている。第1レンズ群303のレンズはそれぞれ非球面のレンズ面S311とS313とを有している。

【0054】第2分割形対物レンズ301の第2レンズ群305は、正の屈折力を有し、凹面のレンズ面が像平面IMの方向を向いたメニスカスL37と、正の屈折力を有し、その凹面のレンズ面が絞り面APEの方向を向いたメニスカスL38と、負の屈折力を有し、その凹面が絞り面APEの方向を向いたメニスカスL39とからなっている。レンズ面S320は非球面のレンズ面であり、その表面の説明は表3に記載されている。非球面のレンズ面S320を高さ81.1mmで非球面のレンズ面S320の照射される領域の頂点と周辺で横切るエンベロープ球面の半径は317.1mmであるので、非球面のレンズ面S320とエンベロープ球面との間の最大垂直高偏差は0.87mmである。

【0055】負の屈折力を有するレンズL39は像平面IMに対して凹面であるレンズ面S321を有し、レンズ直径に対する曲率半径の比率は0.74である。レンズL39は像平面IMの前の、屈折力を有する最後のレンズであるので、凹面のレンズ面S321は像平面IMの直前に配置されている。最後のレンズL39と像平面IMとの間の自由作動距離は64.8mmである。

【0056】REMA-対物レンズ309の像平面IM内にはレチクルが配置されているので、第2の分割形対物レンズ301の第2レンズ群305のレンズは、部分反射するレチクルと、残留反射が残るレンズ面との間に

発生することがある妨害反射を最小限にするように最適化されなければならない。妨害反射にとって重要であるのは、レンズ面S316、S319、S320、およびS321であり、一方、レンズ面S317およびS318の場合は、レチクルと前記レンズ面で反射する最外部の主ビームHSは像平面にはもはや到達せず、REMA-対物レンズ309の内側で対物レンズのフレームに当たる。像平面IMとレンズ面S316との間に妨害反射がある場合は、2回反射した主ビームHSは高さ41.9mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ Y_{im}^{max} に対する高さ比の72%に相当する。像平面IMとレンズ面S319との間に妨害反射がある場合は、2回反射した主ビームHSは高さ59.8mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ Y_{im}^{max} に対する高さ比の102.9%に相当する。像平面IMとレンズ面S320との間に妨害反射がある場合は、2回反射した主ビームHSは高さ83.3mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ Y_{im}^{max} に対する高さ比の143.4%に相当する。像平面IMとレンズ面S321との間に妨害反射がある場合は、2回反射した主ビームHSは高さ158.8mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ Y_{im}^{max} に対する高さ比の273.3%に相当する。

【0057】凹面のレンズ面S321の曲率半径は101.8mmであり、像平面IMとの距離は91.62mmであるので、妨害反射を算定するためのミラーとして機能する凹面のレンズ面S321の絞り面は、像平面IMに対して40.7mmの距離を有している。この距離と曲率半径の半分の数値との比率は0.8であるので、場合によって妨害反射が生じて影響は僅かである。

【0058】中心光束が僅かな入射角で凹面のレンズ面S321に入射させ、ひいては像結像の収差を少なくするために、凹面のレンズ面S321は像平面IMに対してできるだけ同心に配置する。凹面のレンズ面S321の頂点からの像平面IMの距離と、凹面のレンズ面S321の曲率半径の数値との比率は0.90である。

【0059】REMA-対物レンズ309の視野結像の収差により、一つの画素にとって高エネルギーの重ビームは対応する主ビームとはもはや一致しない。物体平面O

B J内では高エネルギーの重ビームと主ビームは各画素にとって一致し、光軸OAに対して平行に進行するものの、光軸OAの外側の画素の場合のコマ収差および斜交球面収差の結果、高エネルギーの重ビームと主ビームとの間に差が生ずる。その際に、高エネルギーの重ビームの方向は絞り面APE内の光束の膨張によって左右される。光束が絞り面APEを完全に照射すると、コマ収差が比較的大きいために、絞り面APEを光軸OAの周囲領域だけで照射する光束の場合に予期されるよりも、高エネルギーの重ビームの主ビームからの偏差はより大きくなる。コマ収差は絞り面APEの環状照射した場合に極端になるが、その理由は、この場合は光束は最外部の開口ビームしか有していないからである。コマ収差および斜交球面収差は図3のREMA-対物レンズ309の場合、絞り面を完全に照射した場合の高エネルギーの重ビームの角度と、全ての視野高さでの主ビーム角度の偏差が $\pm 0.5 \text{ mrad}$ になるように補正される。図4には正の視野高さの場合の角偏差が実線で示されている。

【0060】図5にはREMA-対物レンズ509の第2の実施形態のレンズ分割形対物レンズ片を示す。レンズの他に、中心光束の周辺ビームRS、並びに最外部の主ビーム、および最外部の主ビームHSの光束となるビームが示されている。REMA-対物レンズ509は光軸OAを中心に回転対称に構成されている。システムデータは表5に記載されている。この実施形態ではレンズ材料として水晶(SiO_2)が使用され、その屈折率は作動波長 $\lambda = 248.3 \text{ nm}$ の場合は1.5084である。図1および図3の素子に対応する図5の素子は図1の参照番号と同じ参照番号を有し、あるいは図5では図

1の素子に500を加えた、もしくは図3の素子に200を加えた番号で示す。この素子の説明については図1、もしくは図3の説明を参照されたい。

【0061】図5のREMA-対物レンズ509は像平面に倍率 $\beta = -3.50$ で物体視野を結像する。これは第1分割形対物レンズ511と第3分割形対物レンズ501とから形成されている。REMA-対物レンズ509によって、直径が 113.3 mm の像視野が照射される。像側の開口数は0.19である。そこでREMA-対物レンズ509の光伝導性は 21.5 mm であり、それは図3のREMA-対物レンズ309の光導電性よりも更に高い。REMA-対物レンズ509の入射ひとみは無距離内にあるので、物体平面OBJ内の主ビームは光軸OAに対して平行に進む。第1分割形対物レンズ511により誘発される球面収差およびひとみ結像の像視野湾曲によって、主ビームは絞り面APEに対する軸方向位置で光軸OAと交差する。図5のREMA-対物レンズ509の場合、主ビームと光軸OAとの交差点は互いに 8.2 mm の距離だけ離間している。この距離は 217.2 mm である絞り直径の3.8%に相当する。

【0062】物体平面OBJから射出する光束は像平面IM内でそれぞれ1つのスポット上で集束される。像視野内では全ての画素についてスポット像の最大直径は $260 \mu\text{m}$ である。

【0063】REMA-対物レンズ509のひとみ関数は方程式(1)に基づく多項式として展開することができ、その係数は表6に記載されている。

【表3】

	係数	$Y_{im}^{max} = 56.6 \text{ mm}$ の場合の多項式部分
c_1	-5.341302E-01mrad/mm	-30.23mrad
c_3	2.526716E-04mrad/mm ³	48.81mrad
c_5	-8.320880E-09mrad/mm ⁵	-4.83mrad
c_7	2.120363E-12mrad/mm ⁷	3.95mrad
c_9	-6.339048E-17mrad/mm ⁹	-0.38mrad

表6：多項式の係数

【0064】表6から、正の最大視野高さ Y_{im}^{max} の場合のひとみ結像の球面収差に対する最大部分は、 $+45.8 \text{ mrad}$ である3次の部分であることが分かる。非直線部分全体は $+44.5 \text{ mrad}$ であるので、球面収差はREMA-対物レンズの第1の実施形態と比較して更に明らかに強く過補正される。非直線部分の直線部分に対する比率は最大視野高さ Y_{im}^{max} の場合、 -1.47 である。

【0065】REMA-対物レンズの第2の分割形対物レンズ501は第1レンズ群503と、第2レンズ群5

05とからなっている。第1レンズ群503にはレンズL56とL57とが含まれ、レンズL56は正の屈折力を有するメニスカスであり、レンズL57は負の屈折力を有するメニスカスである。メニスカスの凹面はそれぞれ絞り面APEの方向を向いている。レンズL56は非球面のレンズ面S513を有している。

【0066】第2分割形対物レンズ501の第2レンズ群505は、正の屈折力を有し、凸面のレンズ面が絞り面APEの方向を向いたメニスカスL58と、正の屈折力を有し、その凸面のレンズ面が像平面IMの方向を向

いたメニスカスL59と、正の屈折力を有する両凸レンズL510と、負の屈折力を有し、その凸面が絞り面APEの方向を向いたメニスカスL511とからなっている。レンズ面S523は非球面のレンズ面であり、その表面の説明は表5に記載されている。非球面のレンズ面S523を高さ99.6mmで非球面のレンズ面S523の照射される領域の頂点と周辺で横切るエンベロープ球面の半径は-238.6mmであるので、非球面のレンズ面S523とエンベロープ球面との間の最大垂直高偏差は-1.61mmである。第2レンズ群505は、ひとみ結像の球面収差を大幅に過補正できるように、別の非球面のレンズ面S518を含んでいる。非球面のレンズ面S518を高さ109.9mmで非球面のレンズ面照射される領域の頂点と周辺で横切るエンベロープ球面の半径は170.1mmであるので、非球面のレンズ面S518とエンベロープ球面との間の最大垂直高偏差は1.66mmである。

【0067】レンズL511は像平面IMに対して凹面であるレンズ面S525を備え、レンズ直径に対する曲率半径の比率は0.70である。負の屈折力を有するレンズL511は像平面IMの前の、屈折力を有する最後のレンズであるので、凹面のレンズ面S525は像平面IMの直前に配置されている。最後のレンズと像平面IMとの間の自由作動距離は67.9mmである。

【0068】第2の分割形対物レンズ501の第2レンズ群505のレンズは、妨害反射を最小限にするように最適化されなければならない。妨害反射にとって重要であるのは、図5のREMA-対物レンズ509の場合はレンズ面S519、S522、S524、およびS525であり、これに対して、レンズ面S518、S520、S521、およびS523の場合は、レチクルと前記レンズ面で反射する最外部の主ビームHSは像平面にはもはや到達しない。像平面IMとレンズ面S519との間に妨害反射がある場合は、最外部の主ビームHSは高さ40.1mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ $Y_{i, \max}$ 56.6mmに対する高さ比の70.9%に相当する。像平面IMとレンズ面S522との間に妨害反射がある場合は、最外部の主ビームHSは高さ58.6mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ $Y_{i, \max}$ に対する高さ比の103.5%に相当する。像平面IMとレンズ面S524との間に妨害反射がある場合は、最外部の主ビームHSは高さ52.4mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ $Y_{i, \max}$ に対する高さ比の92.6%に相当する。像平面IMとレンズ面S525との間に妨害反射がある場合は、最外部の主ビームHSは高さ180.7mmで像平面IMと交差する。これは最高視野高さ $Y_{i, \max}$ に対する高さ比の319.3%に相当する。

【0069】凹面のレンズ面S525の曲率半径は96.08mmであり、像平面IMとの距離は96.71

mmであるので、妨害反射を算定するためのミラーとして機能する凹面のレンズ面S525の絞り面は、像平面IMに対して48.7mmの距離を有している。この距離と曲率半径の半分の数値との比率は1.0であるので、場合によって妨害反射が生じても影響は僅かである。

【0070】中心光束が僅かな入射角で凹面のレンズ面S521に入射させ、像結像の収差を少なくするために、凹面のレンズ面S521は像平面IMに対してできるだけ同心に配置する。凹面のレンズ面S521の頂点からの像平面IMの距離と、凹面のレンズ面S521の曲率半径の数値との比率は1.01である。

【0071】高エネルギーの重ビームと、図5のREMA-対物レンズ509の主ビームとの角偏差は図6には正の視野高さについて実線で示されている。これは全ての視野高さで $\pm 0.5 \text{ mrad}$ 未満である。

【0072】図7は、この例では2個の光源717と717'とを備えたマイクロソングラフィ投影露光装置715の第1実施形態の概略図である。光源717として、特にDUVレーザまたはVUVレーザを使用することができ、これは例えば波長193nm用のArF-レーザ、157nm用のF₂-レーザ、126nm用のAr₂-レーザ、および109nm用のNeF-レーザである。ビーム生成光学系719によって、平行な光束が生成され、発散率を高める光学素子721に入射する。発散率を高める光学素子721としては、例えば回折または屈折格子素子を使用することができる。各々の格子素子は、角度分布が格子素子の膨脹率と焦点距離とによって規定される光束を生成する。格子板は後続の対物レンズ723の物体平面、またはその近傍に位置する。対物レンズ723の絞り面725内では格子素子から生成される光束が重複される。対物レンズ723は、絞り面725の照射の拡張率を変化させるためにズーム対物レンズとして設計することができる。光軸に沿って移動可能な2個のアキシコン・レンズを絞り面725の直前に配置することにより、環状幅を可変である環状照射を達成することもできる。このようなズーム・アキシコン対物レンズはドイツ特許明細書第44 41 947 A1号から公知である。開口を形成する素子721を交換することによっても照明を変化させることができる。特殊な開口を形成する素子721は離れた4つの領域を有するいわゆる4極照明をも可能にする。対物レンズ723の絞り面725は楕形コンデンサ727の入力面である。楕形コンデンサ727の出力面の近傍には照射系全体の絞り面APEが位置している。絞り面APE内では、これに加えてマスク729、または透過フィルタを介して照射を制御することができる。楕形コンデンサ727の後には図1の分割形対物レンズ701が配列されている。図7の図1に対応する素子には、図1の参照番号に700を加えた参照番号を付してある。これらの素

子の説明については図1の説明を参照されたい。第1レンズ群703と第2レンズ群との間には、光源717および717'から発する光路と重なる立方体の偏光一分光器731が位置している。したがって、立方体の分光器731まで、照射装置の全ての部品は2個ずつ存在する。立方体の分光器731までの第2の光学系分岐737の全ての部品には第1の光学系分岐735と比較してダッシュ付きの参照番号が付してある。できるだけ損失なく重複がなされるように、分光器の平面733で透過されるべき光線は、入射面内で偏光され、一方、分光器の平面733で反射されるべき光線は入射面に対して垂直に偏光されなければならない。このことは、絞り面APEに偏光フィルタ、または入/4板のような偏光を回転させる手段、または偏光選択手段を配置することによって達成される。光源717が直線的な偏光光線を生じれば、光源717の向きを合わせることによって偏光状態を適宜に調整できる。分割形対物レンズの像平面IM内には、投影対物レンズ741によってウェハ743に結像されるレチクル739が存在する。レチクル739もウェハ743も保持装置(図示せず)上に配置されている。この保持装置によってレチクル739とウェハ743とを交換できる。いわゆるスキャナ・システム内で、レチクル739とウェハ743とは投影対物レンズ741の結像縮尺に応じて走査方向に移動される。

【0073】図7に概略的にのみ示した投影対物レンズ用には、結像縮尺が -0.25 であるドイツ特許明細書第199 42 281.8号の、図2に示した投影対物レンズを使用することができる。この投影対物レンズに関するシステムデータはドイツ特許明細書第199 42 281.8号の表1に記載されており、物体平面とレンズL101の頂点との距離は 49.2885 mm である。システムデータが本件出願の表1に記載されている、図1の分割形対物レンズ710のひとみ関数は、投影対物レンズ741の物体-主ビームの角度分布に厳密に適合されている。図8は物体-主ビーム角と分割形対物レンズ701のひとみ関数との偏差を実線845として示している。最大偏差は $\pm 0.4\text{ mrad}$ である。分割形対物レンズ701を投影対物レンズ741に適合させることによって、投影対物レンズ741におけるひとみ収差の球面収差を著しく不足補正することが可能である。

【0074】図9はマイクロリソグラフィ投影露光装置915の第2実施形態の概略図である。図7に対応する素子は図9でも、図7の素子に200を加えた同じ参照番号を有している。これらの素子の説明については図7の説明を参照されたい。しかし、第2実施形態では、光分布を均質化するためのガラス棒951が使用されている。楕形コンデンサおよび分割形対物レンズの代わりに、マイクロリソグラフィ投影露光装置915は発散率を高める別の光学素子947と、カップリング対物レン

ズ949と、ガラス棒951と、マスクング装置953と、該マスクング装置953をレチクル939に結像するREMA-対物レンズ909とを備えている。このような照射系はドイツ特許明細書第195 20 563

A1号(米国出願番号第09/315267号)に記載されている。この場合、REMA-対物レンズ909は図5のREMA-対物レンズ309と同一であり、そのシステムデータは表3に記載されている。

【0075】ガラス棒951は、該ガラス棒951の入射面955内にガラス棒951内の反射回数に応じて仮想の二次光源を生成する。これがREMA-対物レンズ909の第1分割形対物レンズ911によって結像される。この場合、仮想の二次光源の像は絞り面APE内ではなく、像平面IMの方向に脱焦される。第1分割形対物レンズ911が無限距離内にある入射ひとみを絞り面APEへと結像する一方で、ガラス棒の長さ距離だけ離れた仮想の二次光源はレンズL35とL36との間の領域に結像される。REMA-対物レンズ909は有利には、材料の損傷を防止するために、仮想の二次光源の像、およびこれに関連して強い輝度変動を伴う平面がレンズ上に重なることがないように設計される。このことは、レンズL35を絞り面APEの近傍に配置し、一方、レンズL35とL36との間に十分に大きい空隙をとることによって達成される。その他の可能性としては、仮想の二次光源の像の位置のレンズ材料としてフッ化水晶のようなビームに対する耐性がある材料を使用することが考えられよう。

【0076】ガラス棒951によって、REMA対物レンズ909内に輝度変動が2%未満である方形の視野が照射される。REMA対物レンズ909はこの均質に照射される視野をレチクル上に結像する。そのレチクル上の照射分布は、以前には例えばズーム-アキシコン対物レンズによって調整しなければならなかった絞り面APEの照射にはほぼ影響されない。可変絞り照射によって発生する輝度変動は有利には $\pm 1\%$ 未満である。REMA対物レンズ909の場合は、輝度変動は僅か $\pm 0.2\%$ である。これは開口によって左右される像の歪みの補正によって達成される。

【0077】図9に概略的にのみ示した投影対物レンズとして、結像縮尺が -0.25 であるドイツ特許明細書第199 42 281.8号の図8の投影対物レンズを使用することができる。システムデータは本特許明細書の表4に示されており、物体平面とレンズL401との間の距離は 33.4557 mm である。REMA対物レンズ909のひとみ関数は投影対物レンズ934の対物レンズ-主ビーム角の分布に厳密に適合されている。図10は対物レンズ-主ビーム角の分布と分割形対物レンズのひとみ関数との偏差を実線1045で示している。最大偏差は 0.34 mrad である。

【0078】上記の実施形態によって、後続の投影対物

レンズ内でのひとみ結像の球面収差を不足補正することができる照射系を準備する可能性が示された。それによって、投影対物レンズ内の補正手段を省くことが可能で

ある。

【表4】

レンズ	表面	半径[mm]	厚さ[mm]	材料	直径[mm]
	APE	0.00	15.59		187.9
L11	S102	260.32	39.87	SiO2	195.5
	S103	567.25	135.51		191.1
L12	S104	234.09	15.00	SiO2	184.3
	S105	180.39	259.04		178.1
	S106	0.00	206.08		213.7
L13	S107	1539.49	38.23	SiO2	245.5
	S108	-306.69	52.29		245.8
L14	S109	130.37	52.39	SiO2	190.4
	S110	844.68	15.14		175.2
L15	S111	555.42	5.86	SiO2	160.8
	S112	100.69	79.74		134.3
	IM	0.00	0.00		116.0

$$z = \frac{\frac{1}{R}h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX)\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + \sum_{k=1} c_k h^{2k+2}$$

z : 垂直高、h : 高さ、R : 半径、EX : 偏心率、C_k : 非球面定数

平面	EX	C1	C2	C3	C4
S102	-0.6130	-9.1133E-09	1.0931E-12	-1.1185E-16	4.3105E-21
S104	3.5118	2.6731E-08	-1.1221E-12	7.9601E-17	-4.1294E-21
S111	2.0197E+12	-5.5586E-08	4.3580E-12	-1.9413E-16	2.3919E-21

表1 : 図1の分割形対物レンズの光学的データ

【表5】

	平面	半径[mm]	厚さ[mm]	材料	直径[mm]
	OBJ	0.00	32.95		31.2
L31	S302	-38.69	37.88	CaF2	61.9
	S303	-73.41	0.90		114.4
L32	S304	2696.07	33.32	CaF2	168.2
	S305	-191.13	0.90		178.0
L34	S306	329.78	41.98	SiO2	216.0
	S307	-514.77	28.53		219.1
L35	S308	334.07	34.03	SiO2	227.6
	S309	-570.33	161.49		227.6
	APE	0.00	6.00		188.0
L36	S311	130.20	30.35	SiO2	195.8
	S312	324.12	99.95		192.5
L37	S313	211.39	11.40	SiO2	168.8
	S314	127.10	230.32		158.8
	S315	0.00	216.90		197.4
L38	S316	-851.36	37.33	SiO2	237.1
	S317	-237.99	0.90		240.0
L39	S318	133.05	46.59	SiO2	212.7
	S319	275.70	42.03		200.4
L310	S320	240.69	12.00	SiO2	162.1
	S321	101.80	91.62		138.5
	IM	0.00	0.00		116.2

$$z = \frac{\frac{1}{R}h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX)\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + \sum_{k=1} C_k h^{2k+2}$$

z : 垂直高、h : 高さ、R : 半径、EX : 偏心率、C_k : 非球面定数

平面	EX	C1	C2	C3	C4
S308	-2.4978	-4.3481E-08	-7.8594E-14	-2.0935E-17	8.6082E-23
S311	0.2840	-4.1616E-08	-1.1523E-12	-4.8136E-18	-5.8384E-21
S313	0.6222	-3.5043E-08	1.0875E-12	2.1557E-16	-3.6907E-21
S320	0.9715	-5.9896E-08	-2.8284E-12	1.2407E-16	2.9936E-21

表3 : 図3の分割形対物レンズの光学データ

【表6】

レンズ	平面	半径[mm]	厚さ[mm]	材料	直径[mm]
	OBJ	0.00	44.12		32.4
L51	S502	-42.28	30.35	SiO2	73.0
	S503	-78.14	0.90		121.7
L52	S504	-338.66	37.30	SiO2	163.1
	S505	-124.59	0.86		177.2
L53	S506	2979.91	45.50	SiO2	221.0
	S507	-219.18	1.65		228.3
L54	S508	5302.65	40.00	SiO2	241.5
	S509	-230.16	156.30		244.0
L55	S510	-377.28	26.00	SiO2	241.3
	S511	-224.20	40.60		243.4
	APE	0.00	6.00		217.2
L56	S513	212.83	39.70	SiO2	216.9
	S514	1296.09	120.30		211.7
L57	S515	523.30	11.70	SiO2	166.8
	S516	128.28	148.73		155.8
	S517	0.00	113.55		233.3
L58	S518	146.29	33.90	SiO2	219.7
	S519	345.28	94.30		216.2
L59	S520	-268.89	55.00	SiO2	208.1
	S521	-200.89	0.80		216.3
L510	S522	1616.33	35.50	SiO2	202.3
	S523	-174.93	2.20		199.1
L511	S524	256.46	15.90	SiO2	163.9
	S525	96.08	96.71		137.4
	IM	0.00	0.00		113.3

$$z = \frac{\frac{1}{R}h^2}{1 + \sqrt{1 - EX\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + \sum_{k=1} C_k h^{2k+2}$$

z : 垂直高、h : 高さ、R : 半径、EX : 偏心率、C_k : 非球面定数

平面	EX	C1	C2	C3	C4	C5
S509	-1.1741	3.9084E-08	3.8630E-13	6.5586E-17	-3.3899E-21	1.2432E-25
S513	-0.2501	-2.1870E-08	5.4913E-14	-7.7358E-17	4.1956E-21	-1.2014E-25
S518	0.2356	-3.4023E-08	-1.0405E-12	7.3414E-17	-9.7841E-21	3.0608E-25
S523	-0.8321	1.4350E-07	-4.9565E-12	5.7530E-16	-3.6123E-20	1.5494E-24

表5 : 図5の部の光学データ

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による分割形対物レンズのレンズ部片を示す図面である。

【図2】図1の分割形対物レンズのひとみ関数のグラフである。

【図3】REMA-対物レンズの第1実施形態のレンズ部片を示す図面である。

【図4】視野高さにわたる重ビーム角の分布と、図3のREMA-対物レンズのひとみ関数との偏差を示すグラフである。

【図5】REMA-対物レンズの第2実施形態のレンズ部片を示す図面である。

【図6】視野高さにわたる重ビーム角の分布と、図6の

REMA-対物レンズのひとみ関数との偏差を示すグラフである。

【図7】本発明の分割形対物レンズを有するマイクログラフィ投影露光装置の概略図である。

【図8】ドイツ特許明細書第19942291.8号による、図2に記載の投影対物レンズの物体側の対物レンズ-ひとみ関数と、図3のREMA-対物レンズのひとみ関数との偏差を示すグラフである。

【図9】本発明のREMA-対物レンズを有するマイクログラフィ投影露光装置の概略図である。

【図10】ドイツ特許明細書第19942291.8号による、図8に記載の投影対物レンズの物体側の対物レンズ-ひとみ関数と、図6のREMA-対物レンズのひとみ関数との偏差を示すグラフである。

とみ関数との偏差を示すグラフである。

【符号の説明】

1 分割形対物レンズ

3 レンズ群

5 レンズ群

L11 レンズ

L12 レンズ

L13 両凸レンズ

L14 メニスカス

L15 レンズ

S102 非球面のレンズ面

S104 非球面のレンズ面

S107 レンズ面

S108 レンズ面

S109 レンズ面

S110 レンズ面

S111 レンズ面

S112 レンズ面

S111 非球面のレンズ面

S112 凹面のレンズ面

APE 絞り面

OA 光軸

IM 絞り面

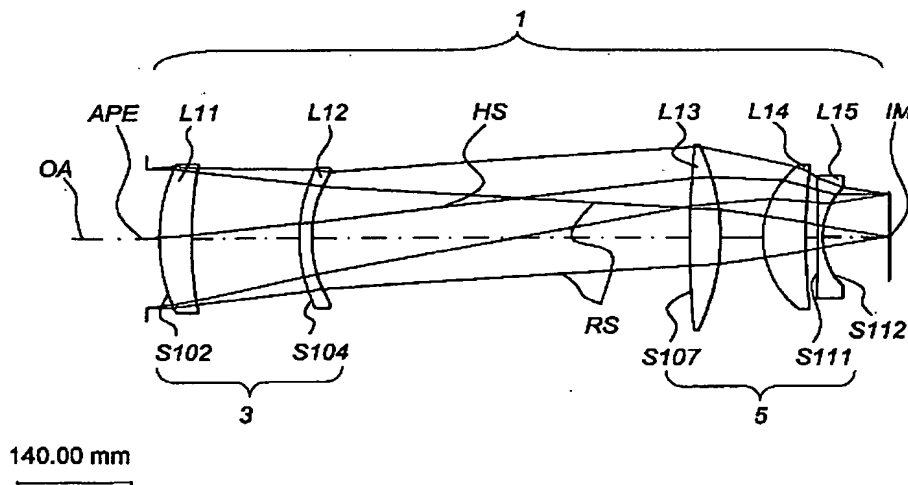
HS 主ビーム

RS 周辺ビーム

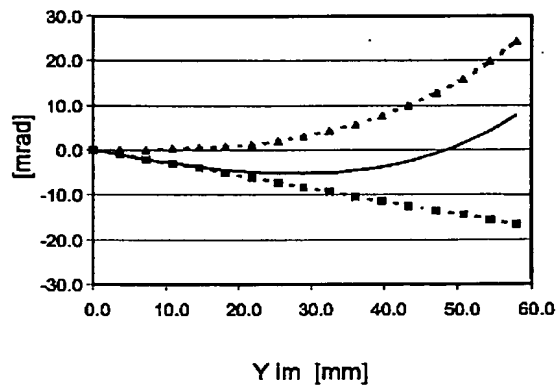
IM MA平面

OBJ 物体平面

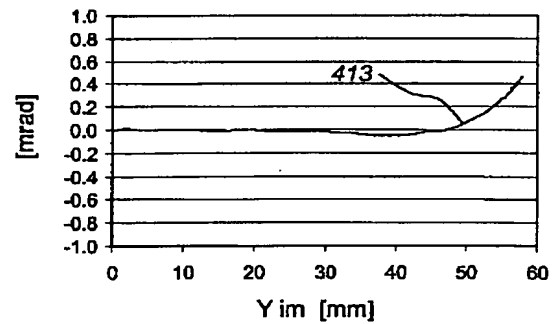
【図1】



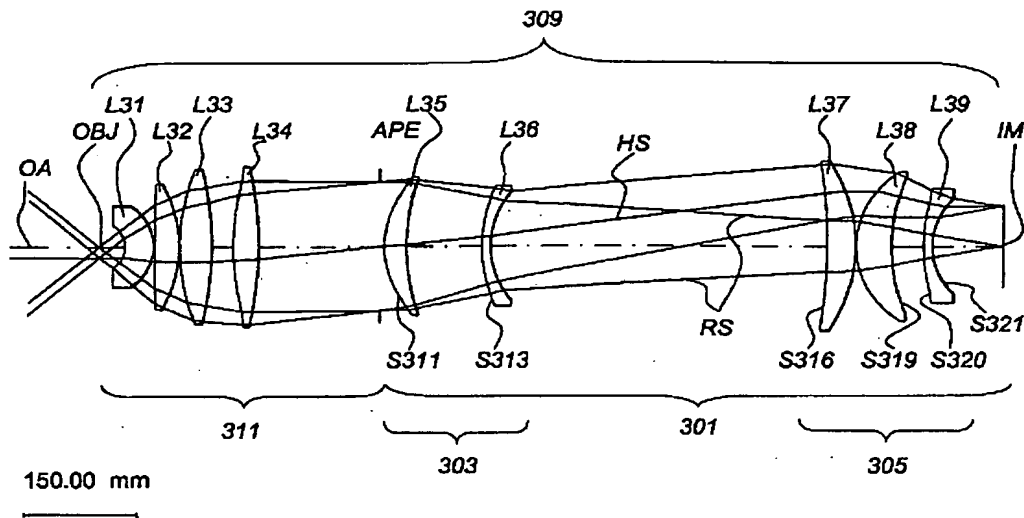
【図2】



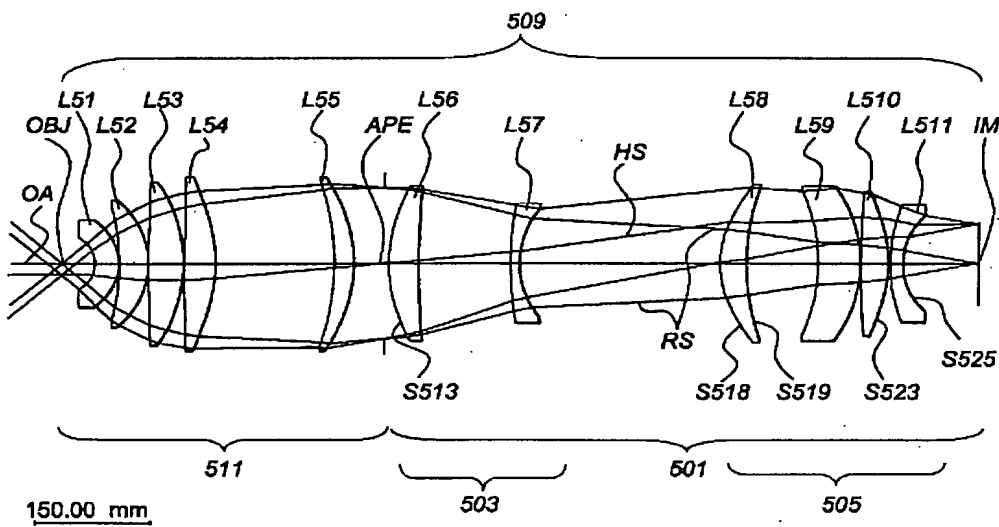
【図4】



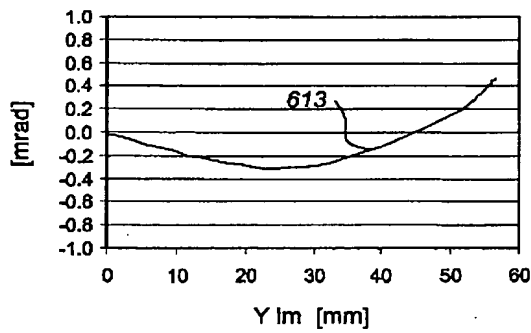
【図3】



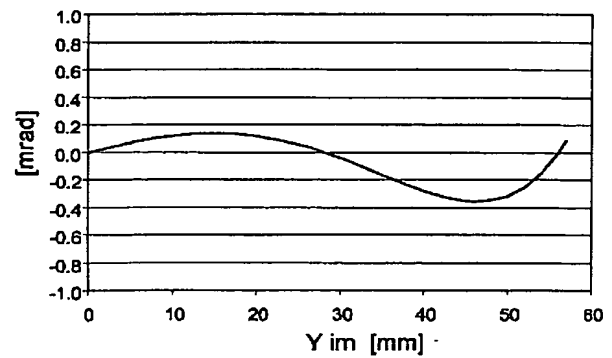
【図5】



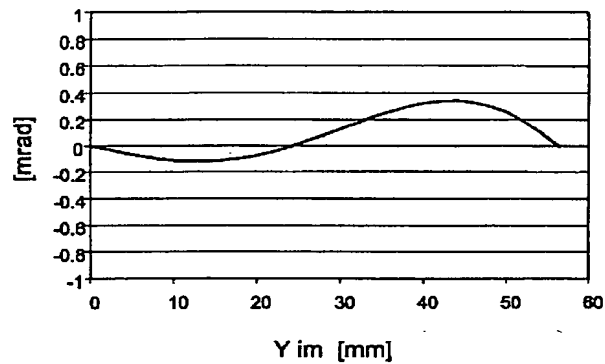
【図6】



【図8】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 アレクザンダー・エップル
ドイツ連邦共和国・73431・アーレン・ボ
ーメルヴァルトシュトラッセ・33
(72)発明者 アレクザンダー・ゾーマー
ドイツ連邦共和国・73447・オーベルコヒ
ェン・イエナー ストリート・12

(72)発明者 ヨハannes・ヴァングラー
ドイツ連邦共和国・89551・ケーニヒスブ
ロン・アン デア ロイテ・15
(72)発明者 ユルゲン・グルンヴァルト
ドイツ連邦共和国・73642・ヴェルツハイ
ム・レーマーウエク・80・ヤノシュ ミュ
ーラー方
Fターム(参考) 2H052 BA02 BA06 BA12
5F046 CB12 CB13 CB17 CB23 DA12

(11)Publication number : 2002-323658

(43)Date of publication of application : 08.11.2002

(51)Int.Cl. G02B 19/00

G03F 7/20

H01L 21/027

(21)Application number : 2002-039626 (71)Applicant : CARL ZEISS
SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGIES AG

(22)Date of filing : 18.02.2002 (72)Inventor : SCHULTZ JOERG
EPPLER ALEXANDER
SOHMER ALEXANDER
WANGLER JOHANNES
GRUNWALD JUERGEN

(30)Priority

Priority number : 2001 10108677

Priority date : 23.02.2001

Priority country : DE

(54) SPLIT TYPE OBJECTIVE LENS FOR ILLUMINATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize the action of a main beam angle on the image plane of a split type objective lens over a wide area.

SOLUTION: This split type objective lens (1) having an optical axis(OA) for irradiating image field in the illuminator of a microlithographic projection exposure device is arranged between an aperture surface (APE) and the image plane (IM). The lens (1) includes a 1st lens group (3) and a lens (L15) having a 1st aspherical lens surface (S111). A 2nd lens group (5) is equipped with at least one 1st lens (L15) having negative refractive power and at least one 2nd lens (L14) having positive refractive power. The

maximum field height Y_{imax} in the image field is at least 40 mm, while a numerical aperture on an image side is at least 0.15. A main beam has field height Y_{im} and the main beam angle PF in the image field.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the division form objective lens (1,301,501) which has an optical axis (OA) for irradiating an image vision field in the irradiation equipment of a micro lithography projection aligner. Said division form objective lens (1,301,501) is arranged between a diaphragm side (APE) and an image plane (IM). The flux of light which has the one main beam from said drawing side (APE), respectively is emitted. The intersection of said main beam and said optical axis (OA) has estranged only a maximum of 10% of distance of the diameter of said drawing side (APE). And said division form objective lens (1,301,501) contains the 1st lens group (3,303,503) and the 2nd lens group (5,305,505). Within said 1st lens group (3,303,503) The radiation height in the lens side of the main beam (HS) of the outermost part which penetrates said drawing side (APE) with the maximum include angle to said optical axis (OA) numerically The main beam is lower than the marginal ray (RS) which makes the boundary of the flux of light which progresses in accordance with said optical axis (OA). On the other hand, within said 2nd lens group (5,305,505) The radiation height in the lens side of the outermost main beam (HS) numerically Are higher than said marginal ray (RS). And said 2nd lens group (5,305,505) It has the lens (L15, L39, L510) which has the 1st lens side (S111, S320, S523) of the aspheric surface. Said 2nd lens group (5,305,505) 1st at least one lens which has negative refractive power (L15, L39, L511), It has 2nd at least one lens (L14, L38, L58) which has forward refractive power. Said image vision Nouchi's maximum visual field height Y_{imax} It is at least 40mm. And the numerical aperture by the side of an image is at least 0.15, and said main beam of said image vision Nouchi has the visual field height Y_{im} . And the distribution covering [in between the field normal of said image plane (IM), and each main beam] said visual field height Y_{im} of nothing and main beam angle PF for main beam angle PF It is shown as follows by the pupil function $PF(Y_{\text{im}})$ which consists of a straight-line part and a nonlinear part. $PF(Y_{\text{im}}) = c_1$ and $Y_{\text{im}} + PFNL(Y_{\text{im}})$, however c_1 are equivalent to the inclination of the pupil function in the case of being visual field height $Y_{\text{im}} = 0\text{mm}$. The nonlinear part $PFNL$ in forward maximum visual field height $Y_{\text{imax}}(Y_{\text{im}})$ is a division form objective lens

characterized by being +15mrd at least.

[Claim 2] Said 1st lens (L15, L39, L511) is a division form objective lens according to claim 1 characterized by having the lens side (S112, S321, S525) which is a concave surface to said image plane (IM).

[Claim 3] The ratio of said radius of curvature [as opposed to / have the radius of curvature and lens diameter of a lens side (S112, S321, S525) which are said concave surface, and / the lens diameter] is a division form objective lens according to claim 2 which is less than 0.8 suitably less than 1.0.

[Claim 4] Said 1st lens (L39, L511) is a division form objective lens given in claim 2 characterized by being a meniscus lens thru/or any 1 term of 3.

[Claim 5] The lens of others which have optical refractive power in the direction of radiation to said 1st lens (L15, L39, L511) is a division form objective lens given in claim 2 characterized by not being arranged thru/or any 1 term of 4.

[Claim 6] It is the division form objective lens according to claim 5 which has the distance from said image plane (IM) to the top-most vertices of the lens side (S112, S321, S525) of said concave surface, and the numeric value of the radius of curvature of the lens side (S112, S321, S525) of said concave surface, and is characterized by the ratio of said distance and said numeric value being a value between 0.7 and 1.3.

[Claim 7] The 1st distance from said image plane (IM) to the top-most vertices of the lens side (S112, S321, S525) of said concave surface, The 2nd distance specified in the one half of the radius of curvature of the lens side (S112, S321, S525) of the concave surface, It is a division form objective lens given in any 1 term of claims 5 and 6 which have the difference of said 1st distance and said 2nd distance, and are characterized by the ratio of said difference and said 2nd distance being 0.3 or more.

[Claim 8] Said image plane (IM) and the lens side of said 2nd lens group (5,305,505) carry out partial reflection of the incident beam. The main beam (HS) of said outermost part And after reflection in said image plane (IM), And after reflecting in respect of the lens of said 2nd lens group (5,305,505), it is said maximum visual field height Yimmax in said image plane (IM). Division form objective lens given in claim 1 characterized by having the radiation height which is at least 30% thru/or any 1 term of 7.

[Claim 9] Said top-most vertices of the field where the lens side (S111, S320, S523) of said aspheric surface is irradiated to the 1st lens side (S111, S320, S523) of said aspheric surface, And it has deflection in perpendicular height around said to the envelope spherical surface which intersects the lens side (S111, S320, S523) of said aspheric surface. The numeric value of the maximum departure of the perpendicular height is a division form objective lens given in claim 1 suitably characterized by being

at least 0.4mm at least 0.2mm thru/or any 1 term of 8.

[Claim 10] It is a division form objective lens given in claim 1 characterized by having the working distance by the side of the image which is at least 40mm suitably at least 30mm thru/or any 1 term of 9.

[Claim 11] Forward maximum visual field height Yimmax The nonlinear part PFNL (Yim) is a division form objective lens given in claim 1 characterized by being +25mrad at least thru/or any 1 term of 10.

[Claim 12] At least one another lens (L58) of said 2nd lens group (505) is a division form objective lens given in claim 1 characterized by having the 2nd lens side (S518) of the aspheric surface thru/or any 1 term of 11.

[Claim 13] Said top-most vertices of the field where the 2nd lens side (S518) of this aspheric surface is irradiated to the 2nd lens side (S518) of said aspheric surface, And it has deflection in perpendicular height around said to the envelope spherical surface which intersects the 2nd lens side (S518) of said aspheric surface. The numeric value of the maximum departure of this perpendicular height is a division form objective lens according to claim 12 suitably characterized by being at least 0.4mm at least 0.2mm.

[Claim 14] The ratio of said nonlinear part PFNL to said straight-line partial c1 and Yimmax (Yimmax) is a division form objective lens given in claim 1 characterized by being in the range of -0.5 to -2.0 thru/or any 1 term of 13 about maximum visual field height Yimmax.

[Claim 15] All the flux of lights with which the numerical aperture by the side of said image is filled completely generate the spot image of one each which has a diameter in said image plane (IM) of said image vision Nouchi, and the diameter at the maximum equator of all spot images is said maximum visual field height Yimmax. Division form objective lens given in claim 1 characterized by being 2% thru/or any 1 term of 14.

[Claim 16] Said 2nd lens (L14, L38, L58) which has forward refractive power is a division form objective lens given in claim 1 characterized by being a meniscus lens thru/or any 1 term of 15.

[Claim 17] Said 2nd lens group (5,305,505) is a division form objective lens given in claim 1 characterized by having three pieces which have a final focal distance thru/or five lenses thru/or any 1 term of 16.

[Claim 18] Said 2nd lens group (5,505) is a division form objective lens given in claim 1 characterized by having a biconvex lens (L13, L510) thru/or any 1 term of 17.

[Claim 19] The 1st division form objective lens which was a REMA-objective lens (309 509) for carrying out image formation of the body visual field to an image vision field, extracted as the body flat surface (OBJ) and has been arranged between fields (APE)

(311 511), The 2nd division form objective lens (301 501) of a publication is included in at least 1 term of said claim arranged between said drawing sides (APE) and said image planes (IM). Said 1st division form objective lens (311 511), It has an optical axis (OA) with said common 2nd division form objective lens (301 501). The main beam emitted from said body visual field intersects said optical axis (OA) in the field of said drawing side (APE). And said REMA-objective lens (309 509) is a REMA-objective lens characterized by expanding said body visual field by 3 times thru/or 8 times, and carrying out image formation to said image vision field in said image plane (IM).

[Claim 20] It emits from the point inside said body visual field, and each flux of light with which the numerical aperture by the side of an image is completely filled in said image plane (IM) generates a spot image in said exposure side, and the diameter at the maximum equator of the spot image is said maximum visual field height Yimmax. REMA-objective lens according to claim 19 characterized by being 2%.

[Claim 21] Said main beam is a REMA-objective lens given in any 1 term of claims 19 and 20 characterized by emanating to a tele cent rucksack from said body flat surface (OBJ).

[Claim 22] It is a REMA-objective lens given in claim 19 which the main beam and the heavy beam of high energy have angle deflection, and are given between the heavy beam of high energy, and said main beam for every visual field height Yim in said image plane (IM), and is characterized by the less than 2 mrad of the maximum angle deflection of all visual field height being less than 1 mrad suitably thru/or any 1 term of 21.

[Claim 23] The irradiation equipment which is a micro lithography projection aligner (715 915), and has the division form objective lens (701 901) of a publication in at least 1 term of said claim, The image vision field in an image plane is equipped with the projection objective lens (741 941) which carries out image formation of the body visual field within a body flat surface. This projection objective lens (741 941) has the objective lens pupil function [body / which is produced as distribution of the objective lens main beam angle covering the body height inside the body visual field]. It has an optical axis (OA) with said common division form objective lens (701 901) and said projection objective lens (741 941). While being in the flat surface where said image plane (IM) of said division form objective lens (701 901) and said body visual field of said projection objective lens (741 941) are common The deflection of the pupil function of said division form objective lens and the body side objective lens-pupil function of all the visual field height inside said image vision field of said objective lens (701 901) is a micro lithography projection aligner suitably characterized by being [less than 2-mrad] less

than 1 mrad.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the irradiation equipment of the micro lithography projection aligner which has the division form objective lens within the illuminating system of the irradiation equipment of a micro lithography projection aligner, the REMA objective lens equipped with such an objective lens, and such an objective lens.

[0002]

[Description of the Prior Art] The division form objective lens contains the 1st lens group and the 2nd lens group which have been arranged between a diaphragm side and an image plane, and the image vision field which should be irradiated is in said image plane. In that case, a component part is arranged centering on an optical axis at axial symmetry. Carrying out incidence of the flux of light which passes through a drawing side and has the one main beam, respectively to a division form objective lens, the main beam intersects an optical axis in the field of a diaphragm side. The shaft-orientations distance of the intersection of the main beam and an optical axis is a maximum of 10% of the diameter of a diaphragm in that case. Distribution of the shaft orientations of an intersection is influenced by the aberration of the pupil image formation induced with the optical-system components arranged in front of a division form objective lens. Pupil image formation is the image formation between pupil sides here. Incidence of the main beam of the outermost part which extracts at an angle of the maximum to an optical axis, and penetrates a field is carried out to the surrounding image plane of an image vision field. The flux of lights to which the main beam advances in accordance with an optical axis gather in the core. The 1st lens group contains the lens with the radiation height lower than the perimeter beam of the core of the flux of light in the lens side of the outermost main beam in that case. The 2nd lens group contains the lens with the radiation height higher than the perimeter beam of the core of the flux of light in the lens side of the outermost main beam. The lens of the 2nd lens group is equipped with the lens side of the aspheric surface in that case.

[0003] DD292 The micro lithography projection aligner equipped with the division form

objective lens of same class from No. 727 between the radial fin type capacitor inside irradiation equipment and the mask which supports the structured division is well-known. A projection objective lens is arranged in the optical path after the mask which supports the structured division, and the lens carries out image formation on a sensitization substrate with the diffraction which had the mask which supports the structured division limited. The 1st lens group of a division form objective lens is the East Germany patent specification 292nd. It is equivalent to the collimator of No. 727, and the 2nd lens group is equivalent to the field lens which consists of one lens. In that case, the field lens exerted the operation on the angular distribution of the main beam in the image plane of a division form objective lens, and in order to make it the image plane of a projection objective lens mostly irradiated by the tele cent rucksack, it is equipped with the amendment side of the aspheric surface. The aberration of the pupil image formation between the drawing side of a division form objective lens and the drawing side of a projection objective lens decreases according to the amendment side of the aspheric surface. DD292 Since the field lens consists only of a single lens which has forward refractive power, that possibility of amending pupil image formation is limited has the fault of the configuration of No. 727. Moreover, with this operation gestalt, the numerical aperture by the side of an image is slight, or it is 0.04, and the maximum visual field height is 71.75mm.

[0004] DE195 48 805 A1 No. (U.S. Pat. No. 5,982,558) and DE196 53 983 The so-called REMA-objective lens is well-known for this applicant from A1 No. (the United States patent application 09th / No. 125621). A REMA-objective lens is attached just before the mask which supports the structured division with a micro lithography projection aligner, and the so-called reticle. This lens carries out image formation also of the circumference part for masking equipment and the so-called REMA(reticle masking)-blade sharply on a reticle. A REMA-blade can be equipped with the mechanical edge which can usually be adjusted, and can change the magnitude of the body visual field of a consecutive REMA-objective lens by it. DE19548 805 An A1 No. operation gestalt is DE196 while having indicated the REMA-objective lens which has a pure spherical lens. 53 983 In A1 No., in order to cut down the number of lenses inside a REMA-objective lens, it has proposed using an aspheric lens. In this case, the field lens section of a REMA-objective lens makes it adapted with the angular distribution of the main beam of the projection objective lens of consecutiveness to the angular distribution of the main beam of a REMA-objective lens so that a continuous beam advance may be attained between said REMA-objective lenses and projection objective lenses.

[0005] EP0 811 865 A1 No. is indicating the division form objective lens arranged

between a diaphragm side and an image plane. In this case, not a reticle but the masking equipment by which image formation is carried out to a reticle with a consecutive objective lens is arranged in the image plane of a division form objective lens. Therefore, a division form objective lens does not exert a direct operation on distribution of the main beam angle on the intersection between irradiation equipment and a consecutive projection objective lens.

[0006] With a new style projection objective lens, the magnitude of the structured division can manufacture the components of a less than 0.2-micrometer microstructure. Thus, in order to attain advanced resolution, 248nm especially of projection objective lenses operates on the wavelength of 157nm, not to mention 193nm or it, and the numerical aperture by the side of an image is 0.65 or more. The diameter of an image vision field is 20mm or more partially at coincidence. Therefore, the demand criteria over the optimal design of such a projection objective lens are considerable. It is necessary besides carrying out visual field image formation of the reticle on a photosensitive substrate, i.e., the so-called wafer, to also amend pupil image formation. Then, the anterior part objective lens of the projection objective lens which extracted as the body flat surface and has been arranged between fields exerts an operation on the image formation of the entrance pupil on a diaphragm side, and, on the other hand, the posterior part objective lens arranged between a diaphragm side and an image plane exerts an operation on the image formation of the drawing side on an exit pupil. In that case, the aberration of the pupil image formation of a projection objective lens shows distribution of the main beam angle within the body flat surface of a projection objective lens.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The purpose of this invention is to offer the division form objective lens of the class stated to the beginning which enables an operation of the main beam angle in the image plane of a division form objective lens over a large field. It is necessary to amend the aberration of the pupil image formation which can be especially carried out with the anterior part objective lens of a consecutive projection objective lens.

[0008]

[Means for Solving the Problem] The above-mentioned technical problem is attained by the division form objective lens given in the 1st term of a patent claim. The special embodiment of this invention is indicated by the 23rd term from the 2nd term of a dependent claim. The 18th term is related with the REMA-objective lens with which the 19th term of a patent claim to the 22nd term attached said division form objective lens

about the division form objective lens by this invention from the 1st term of a patent claim. The embodiment which uses the division form objective lens by this invention with a micro lithography projection aligner is indicated by the 23rd term of a patent claim.

[0009] It can express as an expansion-into-series type which states odd and has **, the distribution, i.e., so-called pupil function, of main beam angle PF covering the visual field height Y_{im} in the image plane of the division form objective lens by this invention. This polynomial is as follows.

[Equation 1]

$$PF(Y_{im}) = \sum_n c_n \cdot Y_{im}^n (n = 1, 3, 5, 7, 9 \dots). \quad (1)$$

[0010] It is defined as main beam angle PF which is the include angle which the field normal and each main beam of an image plane make being negative in the direction of a clockwise rotation. Since it is a symmetry form, the pupil function of the optical system of axial symmetry does not have the part accompanied by even number **** centering on the optical axis. The same shaft-orientations location of an exit pupil, i.e., a **** exit pupil, will be generated for every visual field height Y_{im}, when there is no aberration of pupil image formation in the illuminating system in the image plane of the division form objective lens by this invention. Since all the main beams cross by one on an optical axis in the case of a **** exit pupil, only linear relation exists between the visual field height Y_{im} and the tangent of the include angle for every main beam. Like [in following], if the main beam angle is small, the tangent of the main beam angle can carry out a direct approximation calculation with an include angle. In the case of a **** pupil, a pupil function has only the straight-line part c₁ and Y_{im}, and a multiplier c₁ is equivalent to the inclination in Y_{im}=0mm here. However, the shaft-orientations location of an exit pupil changes with aberration of pupil image formation in each visual field height. The location of the exit pupil influenced by the visual field is expressed by the following nonlinear parts of a pupil function.

[Equation 2]

$$PF_{NL}(Y_{im}) = \sum_n c_n \cdot Y_{im}^n (n = 3, 5, 7, 9 \dots). \quad (2)$$

[0011] A high order part corresponds to the spherical-angle aberration of pupil image formation by that time, therefore spherical aberration is expressed as angle aberration. Since insufficient amendment of the optical system which has forward refractive power is usually carried out by the spherical surface without a special amendment means, the nonlinear part PFNL of a pupil function in case visual field height is forward is negative.

In contrast with it, the pupil function of the division form objective lens of this invention has the nonlinear part PFNL which is forward clearly, when visual field height is forward. The nonlinear part PFNL to the main beam angle in case visual field height is the highest (Yimmax) is +15mrad at least. Therefore, a division form objective lens brings about strong fault amendment of the spherical aberration of pupil image formation. Therefore, since insufficient amendment of the consecutive division form objective lens can be carried out by it by the spherical surface about pupil image formation, as a result this can exclude the amendment means in a projection objective lens, it is advantageous. It is because the quality standard as which that reason is required of the optical element in a projection objective lens is clearly higher than the criteria of the optical-axis component within illuminating system although it is still more suitable when this amendment means is stored in illuminating system. A diameter is at least 80mm and the division form objective lens of this invention attains the above-mentioned fault amendment in the image vision field whose numerical aperture by the side of an image is at least 0.15. The numerical aperture by the side of an image is the numerical aperture in a possible image plane by the maximum diaphragm diameter of a division form objective lens here. The photoconduction value defined by the product of the diameter of an image vision field and the numerical aperture by the side of an image is at least 12mm. When the 2nd lens group of the division form objective lens of this invention consists of at least two lenses, fault amendment of the spherical aberration of pupil image formation can be attained, in that case, the 1st lens has negative refractive power and the 2nd lens has forward refractive power.

[0012] The 1st lens which has negative refractive power is equipped with the lens side which is concave to the image plane, as a result it is advantageous to especially amendment of the spherical aberration of pupil image formation in the radius of curvature of this flat surface being forward.

[0013] It is suitable that the ratio of the radius of curvature of a concave lens side and a lens diameter is less than 0.8 suitably less than 1.0. The minimum of this ratio is the value of 0.5 which produces a semi-sphere. According to the lens side of the concave surface which curved strongly, the incident angle to said lens side of the main beam of the pixel estranged distantly [shaft] becomes large, as a result it contributes greatly by fault amendment of the spherical aberration of pupil image formation.

[0014] The 1st lens which has negative refractive power is suitably constituted as a meniscus. In the case of a meniscus lens, the sign of the top-most-vertices radius of a front face and a rear face is forward.

[0015] It will be necessary to arrange the 1st lens which has negative refractive power in that case near the image plane as much as possible. It can have the balancing plane of a free configuration, for example, even as for a plane-parallel plate like a filter or a projection plate, it is advantageous that other optical elements are not arranged in the optical path between the 1st lens and an image plane.

[0016] In order to amend visual field image formation, i.e., the image formation of the flux of light in an image plane, it is advantageous that the lens side of the concave surface of the 1st lens is a flat surface of this alignment mostly to an image plane. In this case, incidence of the main flux of light with a small incident angle is carried out to a concave lens side. This is attained when the ratio of spacing of the image plane from the top-most vertices of the lens side of the concave surface to the numeric value of the radius of curvature of a concave lens side is from 0.7 to 1.3. While carrying out incidence without refracting the beam of the main flux of light mostly according to the lens side of this alignment to an image plane, the incident angle of the flux of light of a pixel which separated distantly [shaft] becomes large. Therefore, said flat surface can be used ideal to correct distortion of the image influenced by the visual field, and, on the other hand, the main flux of light does not need to be influenced mostly.

[0017] When the 1st lens which has a concave lens flat surface to an image plane, and the lens of others which have optical refractive power between image planes do not exist, the value of the one half of the radius of curvature of a concave lens side is more clearly [than the distance from the image plane of the top-most vertices of a concave lens side] large, or a small thing is advantageous. Usually, if the reticle which then, the flux of light which carried out incidence reflects again in a division form objective lens is in an image plane, the above-mentioned demand criteria over the radius of curvature of a concave lens side will be met. Since the flat surface of each optical system itself carries out residents reflection in an acid-resisting layer, the beam of light reflected from a mask is re-reflected in the direction of a mask in respect of a concave lens to an image plane. When the exposure of a mask is a tele cent rucksack mostly, if the image plane has estranged with the focal distance of the lens side of the concave surface which acts as a mirror, active jamming reflection will arise. The focal distance of a concave mirror is prescribed by the value of the one half of radius of curvature. When the difference of spacing of the lens side of the concave surface from an image plane and a focal distance is larger than the numeric value which carried out the multiplication of a focal distance and the multiplier 0.3, active jamming reflection can be disregarded.

[0018] Also in flat surface where the minimization of active jamming reflection of the 2nd lens group is another, it is taken into consideration. In order to make it active

jamming reflection not arise between a reticle and the lens side of the 2nd lens group, the 2nd RENGU group is constituted so that the main beam of the outermost part which extracts at an angle of the maximum [to an optical axis], and penetrates a field may extract, and it may have at least 30% of radiation height of maximum visual field height Yimmax in an image plane after reflecting [reflection in a field, and] in respect of the lens of the 2nd lens group. If this has the fixed refractive power of a division form objective lens, change of whenever [curve / of a lens side] can attain it. Therefore, since the intersection of the outermost main beam and an image plane marks 50% of active jamming reflection, the main beam of said outermost part relates to evaluation of active jamming reflection. However, clear active jamming reflection will occur, since the flux of light which all the parts of others of the main beam also intersected the image plane, and reflected them twice in this field carries out incidence of the optical axis to a field narrow as a core when the outermost main beam intersects the image plane of the field of an optical axis.

[0019] The description of the lens side of the 1st aspheric surface is in the large perpendicular high deflection which is 0.4mm suitably at least 0.2mm to the envelope spherical surface. Thus, that aspheric surface nature is high is one amendment means by which I accept it in order to make fault correction of the spherical aberration of pupil image formation. The definition of perpendicular quantity is the distance of the lens side of the aspheric surface, and the envelope spherical surface in the direction of an optical axis. The definition of the envelope spherical surface is the spherical surface which has the same top-most vertices as the aspheric surface, and crosses around the lens side and exposure field of the aspheric surface. An exposure field is limited by the circumference beam of the flux of light of the outermost main beam.

[0020] Furthermore, the difficulty that the working distance by the side of the image of a division form objective lens must be at least 40mm suitably at least 30mm follows on the design of a division form objective lens. In that case, the free working distance is distance with the top-most vertices of an image plane and the optical flat surface of the last of a division form objective lens, and when the last optical flat surface is a concave surface, only the perpendicular quantity of the highest [distance / said] of the last optical flat surface is reduced. According to the free working distance, free access to the image plane where a reticle usually exists is attained. A reticle must be able to be positioned and the equipment for exchanging these must be able to act in this tooth space.

[0021] It becomes possible to carry out fault amendment of the spherical aberration of pupil image formation with the division form objective lens based on this invention, so

that the nonlinear part PFNL to the main beam angle for forward highest visual field height Y_{imax} (Y_{imax}) may be $+25\text{mrad}$ at least.

[0022] Especially this is attained when the 2nd lens group is equipped with the lens side of the 2nd aspheric surface.

[0023] The greatest perpendicular high deflection of the lens side of the 2nd aspheric surface from the envelope spherical surface must be larger than 0.2mm as much as possible, and is 0.4mm or more suitably.

[0024] It is suitable for the ratio of said nonlinear part [as opposed to said straight-line partial c_1 and Y_{imax} about maximum visual field height Y_{imax}] PFNL (Y_{imax}) that it is in the range of -0.5 to -2.0 . In that case, by the straight-line part of a pupil function, since a partial compensation of the nonlinear part of the highest visual field height is attained, when visual field height is forward, the max of the almost same magnitude and the minimum main beam angle arise, and if the main beam in this visual field height is averaged, it will advance in parallel to an optical axis. The straight-line part of a pupil function is adjusted through the paraxial location of an exit pupil.

[0025] A division form objective lens converges the flux of light which carries out incidence on the spot image which has the minimum diameter in an image plane other than the effect of the spherical aberration of pupil image formation. It is required to amend visual field image formation for that purpose. The maximum spot diameter of all spot images is 2% of highest visual field height Y_{imax} advantageously. Since the flux of light at the time of opening a diaphragm completely to measuring a spot image and a spot diameter is examined, the flux of light irradiates the maximum numerical aperture by the side of an image. In that case, a spot layer is obtained by the intersection of the beam of the flux of light, and an image plane. As an amendment means, the 1st lens group which consists of a meniscus which has forward refractive power suitably, and a meniscus which has negative refractive power is mainly used. Additionally, it is suitable that the 1st lens group is equipped with the lens side of the aspheric surface.

[0026] It is suitable, when amending pupil image formation and visual field image formation to coincidence as the 2nd lens which has forward refractive power is a meniscus.

[0027] Advantageously, the 2nd lens group amends visual field image formation, and in order to carry out fault amendment of the spherical aberration of pupil image formation and to guarantee the uniform exposure of an image vision field, it consists of three pieces to five lenses.

[0028] This is possible by arranging a biconcave lens auxiliary in the 2nd lens group

especially.

[0029] The division form objective lens of this invention is advantageously attached in a REMA-objective lens, and this REMA-objective lens carries out image formation of the body visual field expanded by 8 times from 3 times to image vision Nouchi. In that case, the REMA-objective lens consists of the 1st division form objective lens between a body flat surface and a diaphragm side, and a division form objective lens of this invention. Both division form objective lenses have the common optical axis. The REMA-magnification of objective can be adjusted through the ratio of the focal distance of the 1st division form objective lens and the 2nd division form objective lens. When distortion is in the pupil image formation of the 1st division form objective lens, or the pupil image formation of the optic arranged in front of a REMA-objective lens, it is not necessary to necessarily extract the main beam injected from a body flat surface, and it does not need to intersect a field by one point.

[0030] Since a REMA-objective lens needs to carry out image formation of the masking equipment arranged in the body flat surface on the image plane arranged in a reticle as sharply as possible, the spot image of the object point in an image plane has the minimum diameter. The diameter at the maximum equator of a spot image is 2% of the highest visual field height Y_{imax} . In order to measure the greatest spot diameter, the flux of light in the greatest drawing opening corresponding to the maximum numerical aperture by the side of an image is used.

[0031] Since the entrance pupil of a REMA-objective lens exists in the infinite distance advantageously, the main beam of the flux of light advances in a tele cent rucksack in parallel as a result to an optical axis behind a body flat surface. The image formation scale of a REMA-objective lens is not influenced by focusing gap of the body which is masking equipment in this case with such a means.

[0032] Besides the main beam formed through pupil image formation, the heavy beam of high energy is also important in the image plane of a REMA-objective lens. The heavy beam of the high energy of the flux of light expresses the beam produced from the equalization covering all the beams of the flux of light examined, and each beam based on the exposure of an entrance pupil has the weight of high energy in that case. About the visual field height Y_{im} , the direction of a heavy beam where high energy corresponds is influenced by the aberration of the REMA-objective lens relevant to the exposure of the entrance pupil of a REAM-objective lens. The heavy beam of high energy can be defined as the perfect exposure of an entrance pupil, or partial lighting of an entrance pupil, and lighting is point symmetry mostly to an optical axis in that case. Then, a REMA-objective lens is constituted so that the less than 2 mards of the

maximum angle deflection of the heavy beam of the high energy in all visual field height and the main beam may be less than 1 mrad suitably. These demand criteria were attained by the REMA-objective lens containing eight pieces to 12 lenses which have a final focal distance with the demand criteria to visual field image formation and pupil image formation, in that case, the 1st division form objective lens was equipped with three pieces to five lenses, and the 2nd division form objective lens is equipped with five pieces to seven lenses. It is advantageous to use three pieces to the five aspheric surfaces additionally.

[0033] The division form objective lens by this invention is advantageously used for a micro lithography projection aligner, and a projection objective lens continues immediately after a division form objective lens. The intersection between an illumination system and a projection objective lens expresses the image plane of a division form objective lens, or the body flat surface of a projection objective lens by it. A division form objective lens and a projection objective lens are arranged centering on a common optical axis at axial symmetry in that case. In order to ensure continuous advance of an illumination system and the flux of light from a projection objective lens, distribution of the main beam angle of a division form objective lens must be fitted to distribution of the main beam angle of the projection objective lens in an intersection. In that case, in all the visual field height of image vision Nouchi of a division form objective lens, less than 2 mrads of deflection of the pupil function of a division form objective lens and a body objective lens-pupil function are less than 1 mrad suitably advantageously. If this condition is fulfilled, a division form objective lens and a projection objective lens will form a functional unit about pupil image formation. Since the aberration of a projection objective lens can be compensated with a division form objective lens, the projection objective lens with which the division form objective lens by this invention was applied can correct clear insufficient amendment of the spherical aberration of pupil image formation. Optical amendment of a projection objective lens is sharply eased by it.

[0034] Corresponding to it, it is advantageous to use a REMA-objective lens for a micro lithography projection aligner, and the REMA-objective lens contains the division form objective lens by this invention in that case.

[0035] Next, this invention is explained to a detail with reference to a drawing.

[0036]

[Embodiment of the Invention] The lens section of the division form objective lens 1 by this invention is shown in drawing 1. The beam which forms the boundary of the flux of light of the circumference beam RS of the main flux of light, the outermost main beam

HS, and the outermost main beam other than a lens is shown. Here, the division form objective lens 1 is constituted by the symmetry of revolution centering on the optical axis. System data are indicated in Table 1. With this operation gestalt, Xtal (SiO₂) whose refractive index in the case of $\lambda = 193.3\text{nm}$ actuation wavelength is 1.5603 is used as a lens ingredient. When it is necessary to raise permeability or, and wavelength is 157nm or 126nm and a division form objective lens needs to be used, the Xtal fluoride can also be used as a lens ingredient. The image vision field whose diameter is 116.0mm in an image plane IM is irradiated with the division form objective lens 1. The numerical aperture by the side of an image is 0.18. Then, the photoconductivity of a division form objective lens is 20.7mm.

[0037] According to the drawing side APE whose diameter is 187.9mm, the parallel flux of light carries out incidence to a division form objective lens, and an image plane IM converges on each spot. In an image plane, the maximum spot diameter of all pixels is 160 micrometers. Especially the magnitude of a spot diameter is specified by amendment of image shell and aperture aberration by amendment of visual field image formation again.

[0038] In case incidence of the main beam of the flux of light is carried out to the division form objective lens 1 of drawing 1, it is extracted, and it intersects the optical axis OA of the core of Field APE. The include angle to the optical axis of the main beam within the drawing side APE is equivalent to the visual field height Yim of the main beam in an image plane IM. The maximum angle of the main beam within the drawing side APE is 6.3 degrees, and corresponds to visual field height Yimax which is 58.0mm in an image plane IM. The focal distance of the division form objective lens 1 is 487.7mm. The pupil function PF of the division form objective lens 1 in which the angular distribution of the main beam in an image plane are shown (Yim) is shown in drawing 2 as a continuous line 27. Since the values of the main beam angle in case visual field height is forward are -5.3mrad thru/or $+7.9\text{mrad}$, the main beam in case visual field height is forward is averaged, and advances almost in parallel with an optical axis. A pupil function can be developed as a polynomial of a publication to an equation (1), and the multiplier is indicated in Table 2. In that case, the first multiplier c_1 corresponds to the inclination of the pupil function in the case of being Yim=0, and shows the location of the exit pupil in the case of being pupil image formation without the paraxial location of an exit pupil, or aberration. The 3rd multiplier beyond it shows the spherical aberration of pupil image formation. The straight-line part to a pupil function is indicated as a broken line 28 accompanied by a square mark by drawing 2, and the nonlinear part is indicated as a broken line 29 accompanied by a triangular

mark.

[Table 1]

	係数	$Y_{im}^{max} = 58.0mm$ の場合の多項式部分
c_1	-2.8566E-01mrad/mm	-16.60mrad
c_3	1.2526E-04mrad/mm ³	24.57mrad
c_5	-3.9215E-09mrad/mm ⁵	-2.60mrad
c_7	6.4435E-13mrad/mm ⁷	1.44mrad
c_9	1.5273E-16mrad/mm ⁹	1.15mrad

表 2 : 多項式の係数

[0039] Polynomial partial $cn \cdot Y_{im}^{max}$ which is produced in the case of forward maximum visual field height $Y_{im}^{max} = +58.0mm$ in each degree n is indicated by the 3rd train of Table 2. The maximum part of the spherical aberration of the pupil image formation in forward maximum visual field height Y_{im}^{max} is the 3rd part of +24.6mrad. The whole nonlinear part is +24.6mrad. Since the nonlinear part in forward visual field height has the plus sign, fault amendment of the spherical aberration is carried out clearly. In maximum visual field height Y_{im}^{max} , the ratio of the nonlinear part to a straight-line part is -1.48.

[0040] The division form objective lens 1 consists of the 1st lens group 3 and the 2nd lens group 5. The 1st lens group 3 consists of a lens L11 which has forward refractive power, and a lens L12 which has negative refractive power. The outermost main beam HS advances between an optical axis OA and the circumference beams RS of the main flux of light within the lens group 3. Lenses L11 and L12 are equipped with the lens sides S102 and S104 of the aspheric surface. It is the meniscus to which the lens side of the convex stopped down the lens L11 and the lens L12 and they turned [meniscus] to the direction of Field APE. The 1st lens group 3 contributes in order to amend visual field image formation, as a result to mainly make the spot diameter of a pixel into min.

[0041] In the case of the lens of the 2nd lens group 5, the circumference beam RS of the main flux of light advances between an optical axis OA and the outermost main beams HS. Sufficient installation tooth space for attaching a polarization mirror is between the 1st lens group 3 and the 2nd lens group 5. 90 degrees for example, of exposure optical paths can be deflected by the polarization mirror. Or the spectroscopy for separating a part of exposure beam of light for the measurement purpose can also be attached. If the cube spectroscopy for polarization is used, the beam of light from two optical channels can be piled up almost without a loss [****]. Therefore, the beam of light with which a

spectroscope layer when a cube spectroscope deflects 45 degrees polarizes perpendicularly to plane of incidence is reflected nearly completely, and on the other hand, to plane of incidence, the parallel beam of light is designed so that it may be penetrated nearly completely. The example of drawing 7 explains such a configuration to a detail more.

[0042] The 2nd lens group 5 of drawing 1 functions as a field lens which mainly affects pupil image formation. Since the distortion in visual field image formation can moreover be amended, the luminance distribution in an image plane IM can be made to amend and adaptation-ize. In order to meet such demand criteria, the 2nd lens group 5 consists of a biconvex lens L13 which has forward refractive power, a meniscus L14 which has forward refractive power, and a lens L15 which has negative refractive power. The lens side S111 is a lens side of the aspheric surface, and explanation of the front face is indicated in Table 1. Since the radius of the envelope spherical surface which intersects the lens side L111 of the aspheric surface by 80.4mm around top-most vertices and around [of the field irradiated] is -2218.4 mm, the deflection of the vacant perpendicular quantity of the lens side S11 of the aspheric surface and the envelope spherical surface is 0.28mm.

[0043] The lens L15 which has negative refractive power has the lens side S112 of concave to the image plane, and the ratio of radius of curvature and a lens diameter is 0.75. Since it is the lens of the last which looks at a lens L15 from the direction of a beam of light, and has the refractive power in front of an image plane IM, the concave lens side S112 is arranged just before an image plane IM. The free working distance between image planes IM of the last lens L15 is 50.0mm.

[0044] The free working distance is a field in alignment with an optical axis OA which does not have the optical element of a division form objective lens. However, what is necessary is just to shift the image plane IM of the division form objective lens 1 to it, although it is also possible to attach the projection plate or brightness filter of flat-surface parallel after a lens L15.

[0045] The division form objective lens 1 is usually installed in the irradiation equipment of a micro lithography projection aligner just before a reticle. Since a reticle re-reflects a part of incident ray into the division form objective lens 1, the lens of the 2nd lens group 5 is suitably designed so that active jamming reflection may become the minimum. The beam of light reflected by the reticle reflecting twice in respect of a lens, and reaching a reticle again by it, is attained. It is attained by designing the division form objective lens 1 so that making active jamming reflection into the minimum may cross on an image plane IM and the outside where an optical axis OA is distant, after

the outermost main beam HS reflects twice in respect of a reticle and a lens. The main beam HS reflected twice in respect of [S107 and S112] the lens arrives at an image plane IM again, and on the other hand, when active jamming reflection arises between an image plane and the lens sides S108, S109, S110, and S111, the outermost main beam does not arrive at an image plane any longer, but it is equivalent to the frame of the division form objective lens 1. When active jamming reflection is between an image plane and the lens side S107, the outermost main beam intersects an image screen in height of 37.3mm. This corresponds to 64.3% of height ratio to maximum visual field height Yimmax. When active jamming reflection is between an image plane and the lens side S112, the outermost main beam intersects an image screen in height of 107.7mm. Since this corresponds to 185.7% of height ratio to maximum visual field height Yimmax, the main beam reflected twice on the outside of an image vision field hits an image plane IM.

[0046] When the lens of others which have refractive power does not continue after the lens L15, the concave lens side S112 is very important for active jamming reflection to an image plane IM. If a tele set rucksack irradiates mostly like the case where an image plane IM is this operation gestalt when the distance from the lens side S112 to an image plane IM is equal to the one half of the radius of curvature of the lens side S112, the beam of light re-reflected in an image plane IM from the body irradiated will converge in an image plane IM. On the other hand, since the radius of curvature of the concave lens side S112 is 100.7mm and the distance from an image plane IM is 79.7mm, in order to calculate active jamming reflection, the distance of the drawing side of the lens side S112 of the concave surface which functions as a mirror, and an image plane IM is 29.4mm. Since the ratio of this distance over the one half of radius of curvature is 0.6, the effect of the active jamming reflection generated by the case is not particular thing.

[0047] In order that it may be made for an incident angle to make the concave lens side S112 carry out incidence of the small main flux of light and it may lessen aberration of visual field image formation, the concave lens side S112 is arranged as much as possible to this alignment to an image plane IM. The ratio of the distance from the top-most vertices of the concave lens side S112 to an image plane IM and the numeric value of the radius of curvature of the concave lens side S112 is 0.79.

[0048] The lens division form objective lens section of the 1st operation gestalt of the REMA-objective lens 309 is shown in drawing 3 . The beam which forms the circumference beam RS of the main flux of light other than a lens, and forms the flux of light of the outermost main beam HS and the outermost main beam HS in a list is shown. The REMA-objective lens 309 is constituted by the symmetry of revolution

centering on the optical axis OA. System data is indicated in Table 3. with this operation gestalt, calcium-fluoride Xtal CaF_2 and Xtal (SiO_2) use it as a lens ingredient -- having -- that refractive index -- a case with an actuation wavelength of $\lambda = 193.3\text{nm}$ -- 1.5014 -- it is 1.5603 suitably. The number which gave 300 to the reference number of drawing 1 shows the component of drawing 3 corresponding to the component of drawing 1. Please refer to explanation of drawing 1 about explanation of this component.

[0049] The REMA-objective lens 309 of drawing 3 carries out image formation of the body visual field to an image plane by scale-factor $\beta = -3.74$. This is formed from the 1st division form objective lens 311 and the 3rd division form objective lens 301, and the configuration is the configuration and congener of a division form objective lens of drawing 1. With the REMA-objective lens 309, the image vision field whose diameter is 116.2mm is irradiated. The numerical aperture by the side of an image is 0.18. Then, the photoconductivity of the REMA-objective lens 309 is set to 20.9mm. Since the entrance pupil of the REMA-objective lens 309 is in the infinite distance, the main beam within the body flat surface OBJ progresses in parallel to an optical axis OA. The pupil image formation of the 1st division form objective lens 311 is amended as good as possible. In spite of it, by the image vision field curve of the spherical aberration by the 1st division form objective lens 311, and pupil image formation, the main beam is extracted as an optical axis OA, does not cross directly in Field APE, but is influenced by the shaft-orientations location to a diaphragm side, and intersects an optical axis. In the case of the REMA-objective lens 309 of drawing 3, the crossing of the main beam and an optical axis OA is in a 5.4mm shaft-orientations field. This is equivalent to 2.9% of the diaphragm diameter which is 188mm.

[0050] The flux of light injected from the body flat surface OBJ converges on one spot in an image plane IM, respectively. In image vision Nouchi, the diameter at the maximum equator of a spot image is 240 micrometers about all pixels.

[0051] The pupil function of the REMA-objective lens 309 can be developed as a polynomial based on an equation (1), and the multiplier is indicated in Table 4.

[Table 2]

	係数	$Y_{im}^{max} = 58.1\text{mm}$ の場合の多項式部分
c_1	$-2.8278\text{E-}01\text{mrad/mm}$	-16.43mrad
c_3	$1.0607\text{E-}04\text{mrad/mm}^3$	20.08mrad
c_5	$6.5595\text{E-}09\text{mrad/mm}^5$	4.34mrad
c_7	$-7.5251\text{E-}13\text{mrad/mm}^7$	-1.68mrad
c_9	$7.9719\text{E-}17\text{mrad/mm}^9$	0.60mrad

表 4 : 多項式の係数

[0052] Table 4 shows that the maximum part to the spherical aberration of the pupil image formation in forward maximum visual field height Y_{im}^{max} is the 3rd part which is $+20.1\text{mrad}$. Since the whole nonlinear part is $+24.1\text{mrad}$, fault amendment of the spherical aberration is carried out clearly. In maximum visual field height Y_{im}^{max} , the ratio to the straight-line part of a nonlinear part is -1.46 .

[0053] The 2nd division form objective lens 301 consists of the 1st lens group 303 and the 2nd lens group 305. Lenses L35 and L36 are contained in the 1st lens group 303, a lens L35 is a meniscus which has forward refractive power, and a lens L36 is a meniscus which has negative refractive power. The concave surface of a meniscus has turned to the direction of the diaphragm side APE, respectively. The lens of the 1st lens group 303 has the lens sides S311 and S313 of the aspheric surface, respectively.

[0054] The 2nd lens group 305 of the 2nd division form objective lens 301 has forward refractive power, and consists of the meniscus L37 the concave lens side turned [meniscus] to the direction of an image plane IM, a meniscus L38 which it has forward refractive power, and the lens side of the concave surface extracted, and turned to the direction of Field APE, and a meniscus L39 which it has negative refractive power, and the concave surface extracted, and turned to the direction of Field APE. The lens side S320 is a lens side of the aspheric surface, and explanation of the front face is indicated in Table 3. Since the radius of the envelope spherical surface which crosses the lens side S320 of the aspheric surface on the outskirts of top-most vertices and the outskirts of the field where the lens side S320 of the aspheric surface is irradiated in height of 81.1mm is 317.1mm , the maximum perpendicular high deflection between the lens side S320 of the aspheric surface and the envelope spherical surface is 0.87mm .

[0055] The lens L39 which has negative refractive power has the lens side S321 which is a concave surface to an image plane IM, and the ratio of the radius of curvature over a lens diameter is 0.74 . Since a lens L39 is a lens of the last which has the refractive power in front of an image plane IM, the concave lens side S321 is arranged just before

the image plane IM. The last lens L39 and the free working distance between image planes IM are 64.8mm.

[0056] Since the reticle is arranged in the image plane IM of the REMA-objective lens 309, the lens of the 2nd lens group 305 of the 2nd division form objective lens 301 must be optimized so that active jamming reflection which may be generated between the reticle which carries out partial reflection, and the lens side where residual reflection remains may be made into the minimum. For active jamming reflection, the lens sides S316, S319, S320, and S321 are important, and on the other hand, the outermost main beam HS which reflects in respect of a reticle and said lens in the case of the lens sides S317 and S318 does not arrive at an image plane any longer, but is equivalent to the frame of an objective lens in the inside of the REMA-objective lens 309. When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S316, the main beam HS reflected twice intersects an image plane IM in height of 41.9mm. This is highest visual field height Yimmax. It is equivalent to 72% of the receiving height ratio. When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S319, the main beam HS reflected twice intersects an image plane IM in height of 59.8mm. This is highest visual field height Yimmax. It is equivalent to 102.9% of the receiving height ratio. When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S320, the main beam HS reflected twice intersects an image plane IM in height of 83.3mm. This is highest visual field height Yimmax. It is equivalent to 143.4% of the receiving height ratio. When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S321, the main beam HS reflected twice intersects an image plane IM in height of 158.8mm. This is equivalent to 273.3% of the height ratio to highest visual field height Yimmax.

[0057] Since the radius of curvature of the concave lens side S321 is 101.8mm and the distance with an image plane IM is 91.62mm, the drawing side of the lens side S321 of the concave surface which functions as a mirror for calculating active jamming reflection has the distance of 40.7mm to the image plane IM. Since the ratio of this distance and the numeric value of the one half of radius of curvature is 0.8, effect is slight even if active jamming reflection arises by the case.

[0058] In order that the main flux of light may make the concave lens side S321 carry out incidence by few incident angles, as a result may lessen aberration of image image formation, the concave lens side S321 is arranged as much as possible to this alignment to an image plane IM. The ratio of the distance of the image plane IM from the top-most vertices of the concave lens side S321 and the numeric value of the radius of curvature of the concave lens side S321 is 0.90.

[0059] The heavy beam of high energy is not in agreement with the corresponding main beam any longer for one pixel with the aberration of the visual field image formation of the REMA-objective lens 309. In the body flat surface OBJ, although the heavy beam and the main beam of high energy are in agreement for each pixel and advance in parallel to an optical axis OA, a difference produces them between the heavy beam of high energy, and the main beam as a result of the comatic aberration in the case of the pixel of the outside of an optical axis OA, and oblique intersection spherical aberration. In that case, the direction of the heavy beam of high energy is influenced by expansion of the flux of light within the diaphragm side APE. If the flux of light extracts and Field APE is irradiated completely, since comatic aberration is comparatively large, the deflection from the main beam of the heavy beam of high energy will become larger rather than it is expected in the case of the flux of light which irradiates the diaphragm side APE only in the perimeter field of an optical axis OA. Although it becomes extremely when the diaphragm side APE carries out the annular exposure of the comatic aberration, that reason is that the flux of light has only the outermost opening beam in this case. In the case of the REMA-objective lens 309 of drawing 3, comatic aberration and oblique intersection spherical aberration are amended so that the deflection of whenever [in the include angle and all the visual field height of a heavy beam of high energy at the time of irradiating a diaphragm side completely / main beam angle] may be set to $\approx 0.5\text{mrad}$. The angle deflection in the case of forward visual field height is shown to drawing 4 by the continuous line.

[0060] The piece of a lens division form objective lens of the 2nd operation gestalt of the REMA-objective lens 509 is shown in drawing 5. The beam which turns into the circumference beam RS of the main flux of light other than a lens, and turns into the flux of light of the outermost main beam and the outermost main beam HS at a list is shown. The REMA-objective lens 509 is constituted by the symmetry of revolution centering on the optical axis OA. System data is indicated in Table 5. With this operation gestalt, Xtal (SiO_2) is used as a lens ingredient, and, in the case of $\lambda = 248.3\text{nm}$ actuation wavelength, that refractive index is 1.5084. The number which has the same reference number as the reference number of drawing 1, added 500 to the component of drawing 1 in drawing 5, or added 200 to the component of drawing 3 shows the component of drawing 5 corresponding to the component of drawing 1 and drawing 3. Please refer to explanation of drawing 1 or drawing 3 about explanation of this component.

[0061] The REMA-objective lens 509 of drawing 5 carries out image formation of the body visual field to an image plane by scale-factor $\beta = 3.50$. This is formed from the

1st division form objective lens 511 and the 3rd division form objective lens 501. With the REMA-objective lens 509, the image vision field whose diameter is 113.3mm is irradiated. The numerical aperture by the side of an image is 0.19. Then, the photoconductivity of the REMA-objective lens 509 is 21.5mm, and it is still higher than the photoconductivity of the REMA-objective lens 309 of drawing 3. Since the entrance pupil of the REMA-objective lens 509 is in the infinite distance, the main beam within the body flat surface OBJ progresses in parallel to an optical axis OA. By the image vision field curve of the spherical aberration induced with the 1st division form objective lens 511, and pupil image formation, the main beam intersects an optical axis OA in the shaft-orientations location to the diaphragm side APE. In the case of the REMA-objective lens 509 of drawing 5, the crossing of the main beam and an optical axis OA has estranged only the distance of 8.2mm mutually. This distance is equivalent to 3.8% of the diaphragm diameter which is 217.2mm.

[0062] The flux of light injected from the body flat surface OBJ converges on one spot in an image plane IM, respectively. In image vision Nouchi, the diameter at the maximum equator of a spot image is 260 micrometers about all pixels.

[0063] The pupil function of the REMA-objective lens 509 can be developed as a polynomial based on an equation (1), and the multiplier is indicated in Table 6.

[Table 3]

[0064] Maximum visual field height Yimmax forward [Table 6 to] It turns out that the maximum part to the spherical aberration of the pupil image formation of a case is the 3rd part which is +45.8mrad. Since the whole nonlinear part is +44.5mrad, as compared with the 1st operation gestalt of a REMA-objective lens, fault amendment of the spherical aberration is carried out strongly still more clearly. In maximum visual field height Yimmax, the ratio to the straight-line part of a nonlinear part is -1.47.

[0065] The 2nd division form objective lens 501 of a REMA-objective lens consists of the 1st lens group 503 and the 2nd lens group 505. Lenses L56 and L57 are contained in the 1st lens group 503, a lens L56 is a meniscus which has forward refractive power, and a lens L57 is a meniscus which has negative refractive power. The concave surface of a meniscus has turned to the direction of the diaphragm side APE, respectively. The lens L56 has the lens side S513 of the aspheric surface.

[0066] The 2nd lens group 505 of the 2nd division form objective lens 501 consists of the meniscus L58 which it has forward refractive power, and the convex lens side extracted, and turned to the direction of Field APE, the meniscus L59 it has forward refractive power and the lens side of the convex turned [meniscus] to the direction of an image plane IM, a biconvex lens L510 which has forward refractive power, and a meniscus

L511 which it has negative refractive power, and the convex extracted, and turned to the direction of Field APE. The lens side S523 is a lens side of the aspheric surface, and explanation of the front face is indicated in Table 5. Since the radius of the envelope spherical surface which crosses the lens side S523 of the aspheric surface on the outskirts of top-most vertices and the outskirts of the field where the lens side S523 of the aspheric surface is irradiated in height of 99.6mm is -238.6mm, the maximum perpendicular high deflection between the lens side S523 of the aspheric surface and the envelope spherical surface is -1.61mm. The 2nd lens group 505 includes the lens side S518 of another aspheric surface so that the fault amendment of the spherical aberration of pupil image formation can be carried out sharply. Since the radius of the envelope spherical surface which crosses the lens side S518 of the aspheric surface on the outskirts of top-most vertices and the outskirts of the field where the lens side exposure of the aspheric surface is carried out in height of 109.9mm is 170.1mm, the maximum perpendicular high deflection between the lens side S518 of the aspheric surface and the envelope spherical surface is 1.66mm.

[0067] A lens L511 is equipped with the lens side S525 which is a concave surface to an image plane IM, and the ratio of the radius of curvature over a lens diameter is 0.70. Since the lens L511 which has negative refractive power is a lens of the last which has the refractive power in front of an image plane IM, the concave lens side S525 is arranged just before the image plane IM. The last lens and the free working distance between image planes IM are 67.9mm.

[0068] The lens of the 2nd lens group 505 of the 2nd division form objective lens 501 must be optimized so that active jamming reflection may be made into the minimum. In the case of the REMA-objective lens 509 of drawing 5, the lens sides S519, S522, S524, and S525 are important for active jamming reflection, on the other hand the outermost main beam HS which reflects in respect of a reticle and said lens in the case of the lens sides S518, S520, S521, and S523 does not arrive at an image plane any longer. When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S519, the outermost main beam HS intersects an image plane IM in height of 40.1mm. This is equivalent to 70.9% of the height ratio to highest visual field height Y_{imax} 56.6mm. When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S522, the outermost main beam HS intersects an image plane IM in height of 58.6mm. This is highest visual field height Y_{imax} . It is equivalent to 103.5% of the receiving height ratio. When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S524, the outermost main beam HS intersects an image plane IM in height of 52.4mm. This is equivalent to 92.6% of the height ratio to highest visual field height Y_{imax} .

When active jamming reflection is between an image plane IM and the lens side S525, the outermost main beam HS intersects an image plane IM in height of 180.7mm. This is highest visual field height Yimax. It is equivalent to 319.3% of the receiving height ratio.

[0069] Since the radius of curvature of the concave lens side S525 is 96.08mm and the distance with an image plane IM is 96.71mm, the drawing side of the lens side S525 of the concave surface which functions as a mirror for calculating active jamming reflection has the distance of 48.7mm to the image plane IM. Since the ratio of this distance and the numeric value of the one half of radius of curvature is 1.0, effect is slight even if active jamming reflection arises by the case.

[0070] In order that the main flux of light may make the concave lens side S521 carry out incidence by few incident angles and may lessen aberration of image image formation, the concave lens side S521 is arranged as much as possible to this alignment to an image plane IM. The ratio of the distance of the image plane IM from the top-most vertices of the concave lens side S521 and the numeric value of the radius of curvature of the concave lens side S521 is 1.01.

[0071] The angle deflection of the heavy beam of high energy and the main beam of the REMA-objective lens 509 of drawing 5 is shown to drawing 6 by the continuous line about forward visual field height. This is less than ≈ 0.5 mrad in all visual field height.

[0072] Drawing 7 is the schematic diagram of the 1st operation gestalt of the micro lithography projection aligner 715 equipped with the two light sources 717 and 717' in this example. As the light source 717, DUV laser or VUV laser can be used especially, and this is the ArF-laser for for example, wavelength 193nm, the F2-laser for 157nm, the Ar2-laser for 126nm, and the NeF-laser for 109nm. The parallel flux of light is generated by the beam generation optical system 719, and incidence is carried out to the optical element 721 which raises emissivity according to it. As an optical element 721 which raises emissivity, diffraction or a refracting-grating component can be used, for example. Each grid component generates the flux of light as which angular distribution is specified with the expansion coefficient and focal distance of a grid component. A grid plate is located in the body flat surface of the consecutive objective lens 723, or its near. In the drawing side 725 of an objective lens 723, the flux of light generated from a grid component is overlapped. An objective lens 723 can be designed as a zoom objective lens, in order to change the rate of an escape of an exposure of the diaphragm side 725. By stopping down two movable axicon lenses in accordance with an optical axis, and arranging just before a field 725, the annular exposure which is adjustable about annular width of face can also be attained. Such a zoom axicon objective lens is the

German patent specification 44th. 41 947 It is well-known from A1 No. Lighting can be changed also by exchanging the component 721 which forms opening. The component 721 which forms special opening also enables the so-called 4 pole lighting which has four distant fields. The drawing side 725 of an objective lens 723 is an input screen of the Kushigata capacitor 727. Near the output screen of the Kushigata capacitor 727, the drawing side APE of the whole illuminating system is located. In addition to this, in the drawing side APE, an exposure is controllable through a mask 729 or a transparency filter. After the Kushigata capacitor 727, the division form objective lens 701 of drawing 1 is arranged. The reference number which added 700 to the reference number of drawing 1 is given to the component corresponding to drawing 1 of drawing 7. Please refer to explanation of drawing 1 about explanation of these components. Between the 1st lens group 703 and the 2nd lens group, the polarization-spectroscope 731 of the cube which laps with the optical path emitted from the light source 717 and 717' is located. Therefore, all two components of irradiation equipment exist at a time even to the cubical spectroscopy 731. As compared with the 1st optical-system branching 735, the reference number with a dash is given to all the components of the 2nd optical-system branching 737 to the cubical spectroscopy 731. The beam of light which should be penetrated at the flat surface 733 of a spectroscopy must polarize within plane of incidence, and, on the other hand, the beam of light which should be reflected at the flat surface 733 of a spectroscopy must polarize perpendicularly to plane of incidence so that duplication may be made as without a loss [****] as possible. This is attained by arranging a means to make the diaphragm side APE rotate polarization like a polarizing filter or lambda/4 plate, or a polarization selection means. If the light source 717 generates a linear polarization beam of light, a polarization condition can be suitably adjusted by doubling the sense of the light source 717. In the image plane IM of a division form objective lens, the reticle 739 by which image formation is carried out to a wafer 743 with the projection objective lens 741 exists. The reticle 739 and the wafer 743 are arranged on the supporting structure (not shown). A reticle 739 and a wafer 743 are exchangeable with this supporting structure. Within the so-called scanner system, a reticle 739 and a wafer 743 are moved to a scanning direction according to the image formation scale of the projection objective lens 741.

[0073] German patent specification 199th whose image formation scale is $\cdot 0.25$ for [which accepted to drawing 7 roughly and was shown in it] projection objective lenses 42 The projection objective lens shown in drawing 2 of No. 281.8 can be used. The system data about this projection objective lens is the German patent specification 199th. 42 It is indicated in Table 1 of No. 281.8, and the distance of a body flat surface

and the top-most vertices of a lens L101 is 49.2885mm. The pupil function of the division form objective lens 710 of drawing 1 with which system data is indicated in Table 1 of this application fits strictly the angular distribution of the body-main beam of the projection objective lens 741. Drawing 8 shows the deflection of a body-main beam angle and the pupil function of the division form objective lens 701 as a continuous line 845. Maximum departure is $\approx 0.4\text{mrad}$. By fitting the division form objective lens 701 to the projection objective lens 741, it is possible to carry out insufficient amendment of the spherical aberration of the pupil aberration in the projection objective lens 741 remarkably.

[0074] drawing 9 is the schematic diagram of the 2nd operation gestalt of the micro lithography projection aligner 915. The component corresponding to drawing 7 has the same reference number with which drawing 9 also added 200 to the component of drawing 7. Please refer to explanation of drawing 7 about explanation of these components. However, with the 2nd operation gestalt, the glass rod 951 for homogenizing optical distribution is used. The micro lithography projection aligner 915 is equipped with another optical element 947 which raises emissivity, the coupling objective lens 949, a glass rod 951, masking equipment 953, and the REMA-objective lens 909 that carries out image formation of this masking equipment 953 to a reticle 939 instead of the Kushigata capacitor and the division form objective lens. Such illuminating system is the German patent specification 195th. 20 563 It is indicated by A1 No. (the U.S. application number 09th / No. 315267). In this case, the REMA-objective lens 909 is the same as the REMA-objective lens 309 of drawing 5, and that system data is indicated in Table 3.

[0075] A glass rod 951 generates the secondary light source of imagination according to the count of reflection in a glass rod 951 in the plane of incidence 955 of this glass rod 951. Image formation of this is carried out with the 1st division form objective lens 911 of the REMA-objective lens 909. In this case, there is no image of the secondary light source of imagination into the diaphragm side APE, and it is de** (ed) in the direction of an image plane IM. While the 1st division form objective lens 911 extracts the entrance pupil in the infinite distance and carries out image formation to Field APE, image formation of the secondary light source of the imagination which estranged only the die-length distance of a glass rod is carried out to the field between lenses L35 and L36. Advantageously, in order to prevent damage on an ingredient, the REMA-objective lens 909 is designed in relation to the image of the secondary light source of imagination, and this, so that the flat surface accompanied by strong brightness fluctuation may not

lap on a lens. This stops down a lens L35, arranges it near the field APE, and is attained by on the other hand taking an opening large enough among lenses L35 and L36. I will consider using the ingredient which has the resistance over a beam like the Xtal fluoride as a lens ingredient of the location of the image of the secondary light source of imagination as other possibility.

[0076] By the glass rod 951, the rectangular visual field that brightness fluctuation is less than 2% is irradiated in the REMA objective lens 909. The REMA objective lens 909 carries out image formation of the visual field irradiated by this homogeneity on a reticle. The exposure distribution on the reticle is not mostly influenced by the exposure of the diaphragm side APE which had to be adjusted with the zoom-axicon objective lens before. The brightness fluctuation generated by variable-aperture exposure is less than **1% advantageously. In the case of the REMA objective lens 909, it is [whether brightness fluctuation is slight and] **0.2%. This is attained by amendment of distortion of the image influenced by opening.

[0077] German patent specification 199th whose image formation scale is -0.25 as a projection objective lens which accepted to drawing 9 roughly and was shown in it 42 The projection objective lens of drawing 8 of No. 281.8 can be used. System data is shown in Table 4 of this patent specification, and the distance between a body flat surface and a lens L401 is 33.4557mm. The pupil function of the REMA objective lens 909 fits strictly distribution of the objective lens-main beam angle of the projection objective lens 934. Drawing 10 shows the deflection of distribution of an objective lens-main beam angle, and the pupil function of a division form objective lens as the continuous line 1045. Muximum departure is 0.34mrad(s).

[0078] Possibility of preparing the illuminating system which can carry out insufficient amendment of the spherical aberration of the pupil image formation within a consecutive projection objective lens according to the above-mentioned operation gestalt was shown. It is possible to exclude the amendment means in a projection objective lens by it.

[Table 4]

レンズ	表面	半径[mm]	厚さ[mm]	材料	直径[mm]
	APE	0.00	15.59		187.9
L11	S102	260.32	39.87	SiO2	195.5
	S103	567.25	135.51		191.1
L12	S104	234.09	15.00	SiO2	184.3
	S105	180.39	259.04		178.1
	S106	0.00	206.08		213.7
L13	S107	1539.49	38.23	SiO2	245.5
	S108	-306.69	52.29		245.8
L14	S109	130.37	52.39	SiO2	190.4
	S110	844.68	15.14		175.2
L15	S111	555.42	5.86	SiO2	160.8
	S112	100.69	79.74		134.3
	IM	0.00	0.00		116.0

$$z = \frac{\frac{1}{R}h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX)\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + \sum_{k=1} c_k h^{2k+2}$$

z : 垂直高、h : 高さ、R : 半径、EX : 偏心率、C_k : 非球面定数

平面	EX	C1	C2	C3	C4
S102	-0.6130	-9.1133E-09	1.0931E-12	-1.1185E-16	4.3105E-21
S104	3.5118	2.6731E-08	-1.1221E-12	7.9601E-17	-4.1294E-21
S111	2.0197E+12	-5.5586E-08	4.3580E-12	-1.9413E-16	2.3919E-21

表 1 : 図 1 の分割形対物レンズの光学的データ

[Table 5]

	平面	半径[mm]	厚さ[mm]	材料	直径[mm]
	OBJ	0.00	32.95		31.2
L31	S302	-38.69	37.88	CaF2	61.9
	S303	-73.41	0.90		114.4
L32	S304	2696.07	33.32	CaF2	168.2
	S305	-191.13	0.90		178.0
L34	S306	329.78	41.98	SiO2	216.0
	S307	-514.77	28.53		219.1
L35	S308	334.07	34.03	SiO2	227.6
	S309	-570.33	161.49		227.6
	APE	0.00	6.00		188.0
L36	S311	130.20	30.35	SiO2	195.8
	S312	324.12	99.95		192.5
L37	S313	211.39	11.40	SiO2	168.8
	S314	127.10	230.32		158.8
	S315	0.00	216.90		197.4
L38	S316	-851.36	37.33	SiO2	237.1
	S317	-237.99	0.90		240.0
L39	S318	133.05	46.59	SiO2	212.7
	S319	275.70	42.03		200.4
L310	S320	240.69	12.00	SiO2	162.1
	S321	101.80	91.62		138.5
	IM	0.00	0.00		116.2

$$z = \frac{\frac{1}{R}h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX)\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k h^{2k+2}$$

z : 垂直高、h : 高さ、R : 半径、EX : 偏心率、C_k : 非球面定数

平面	EX	C1	C2	C3	C4
S308	-2.4978	-4.3481E-08	-7.8594E-14	-2.0935E-17	8.6082E-23
S311	0.2840	-4.1616E-08	-1.1523E-12	-4.8136E-18	-5.8384E-21
S313	0.6222	-3.5043E-08	1.0875E-12	2.1557E-16	-3.6907E-21
S320	0.9715	-5.9896E-08	-2.8284E-12	1.2407E-16	2.9936E-21

表 3 : 図 3 の分割形対物レンズの光学データ

[Table 6]

レンズ	平面	半径[mm]	厚さ[mm]	材料	直径[mm]
	OBJ	0.00	44.12		32.4
L51	S502	-42.28	30.35	SiO2	73.0
	S503	-78.14	0.90		121.7
L52	S504	-338.66	37.30	SiO2	163.1
	S505	-124.59	0.86		177.2
L53	S506	2979.91	45.50	SiO2	221.0
	S507	-219.18	1.65		228.3
L54	S508	5302.65	40.00	SiO2	241.5
	S509	-230.16	156.30		244.0
L55	S510	-377.28	26.00	SiO2	241.3
	S511	-224.20	40.60		243.4
	APE	0.00	6.00		217.2
L56	S513	212.83	39.70	SiO2	216.9
	S514	1296.09	120.30		211.7
L57	S515	523.30	11.70	SiO2	166.8
	S516	128.28	148.73		155.8
	S517	0.00	113.55		233.3
L58	S518	146.29	33.90	SiO2	219.7
	S519	345.28	94.30		216.2
L59	S520	-268.89	55.00	SiO2	208.1
	S521	-200.89	0.80		216.3
L510	S522	1616.33	35.50	SiO2	202.3
	S523	-174.93	2.20		199.1
L511	S524	256.46	15.90	SiO2	163.9
	S525	96.08	96.71		137.4
	IM	0.00	0.00		113.3

$$z = \frac{\frac{1}{R}h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 - EX)\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + \sum_{k=1} c_k h^{2k+2}$$

z : 垂直高、h : 高さ、R : 半径、EX : 偏心率、C_k : 非球面定数

平面	EX	C1	C2	C3	C4	C5
S509	-1.1741	3.9084E-08	3.8630E-13	6.5586E-17	-3.3899E-21	1.2432E-25
S513	-0.2501	-2.1870E-08	5.4913E-14	-7.7358E-17	4.1956E-21	-1.2014E-25
S518	0.2356	-3.4023E-08	-1.0405E-12	7.3414E-17	-9.7841E-21	3.0608E-25
S523	-0.8321	1.4350E-07	-4.9565E-12	5.7530E-16	-3.6123E-20	1.5494E-24

表 5 : 図 5 の部の光学データ

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the drawing in which the lens piece of the division form objective lens by this invention is shown.

[Drawing 2] It is the graph of the pupil function of the division form objective lens of drawing 1 .

[Drawing 3] It is the drawing in which the lens piece of the 1st operation gestalt of a REMA-objective lens is shown.

[Drawing 4] It is the graph which shows the deflection of distribution of the heavy beam angle covering visual field height, and the pupil function of the REMA-objective lens of drawing 3 .

[Drawing 5] It is the drawing in which the lens piece of the 2nd operation gestalt of a REMA-objective lens is shown.

[Drawing 6] It is the graph which shows the deflection of distribution of the heavy beam angle covering visual field height, and the pupil function of the REMA-objective lens of drawing 6 .

[Drawing 7] It is the schematic diagram of the microphone log RAFI projection aligner which has the division form objective lens of this invention.

[Drawing 8] It is the graph by the German patent specification 19942291.No. 8 which shows the deflection of an objective lens-pupil function [body / of the projection objective lens of a publication], and the pupil function of the REMA-objective lens of drawing 3 to drawing 2 .

[Drawing 9] It is the schematic diagram of the microphone log RAFI projection aligner which has the REMA-objective lens of this invention.

[Drawing 10] It is the graph by the German patent specification 19942291.No. 8 which shows the deflection of an objective lens-pupil function [body / of the projection objective lens of a publication], and the pupil function of the REMA-objective lens of drawing 6 to drawing 8 .

[Description of Notations]

1 Division Form Objective Lens

3 Lens Group

5 Lens Group

L11 Lens

L12 Lens

L13 Biconvex lens

L14 Meniscus

L15 Lens

S102 Lens side of the aspheric surface
S104 Lens side of the aspheric surface
S107 Lens side
S108 Lens side
S109 Lens side
S110 Lens side
S111 Lens side
S112 Lens side
S111 Lens side of the aspheric surface
S112 Concave lens side
APE Diaphragm side
OA Optical axis
IM Drawing side
HS Main beam
RS Circumference beam
IM MA flat surface
OBJ Body flat surface

*** NOTICES ***

JPO and NCIP are not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.